

見張りの信頼性について

著者	小川 征克
学位授与機関	東京商船大学
学位授与年度	1979
URL	http://id.nii.ac.jp/1342/00000891/

修 士 論 文

題 目 見張りの信頼性について

指導教授 杉崎 昭生

商船学研究科 航海学 専攻

昭和 53 年入学

氏 名 小川 征克

昭和 55 年 1 月 30 日提出

目 次

頁

はじめに

1

1. 見張りの機能と調査

1.1. 見張りの機能 4

1.2. 見張りの故障 9

1.2.1. 見張りの故障 9

1.2.2 見張りの故障と衝突 10

1.3 調査 12

1.3.1 判断基準に関する調査 12

1.3.2 見張りに関する実船調査 16

2. 判断基準と信頼度

2.1 判断基準の解析 25

2.1.1 調査結果 25

2.1.2 分布のあてはめ 30

2.1.3 判断基準の設定 36

2.2 実船調査の解析 40

2.2.1 危険度判断の記録 40

2.2.2 見合い関係の分類基準 44

2.2.3 レーダ写真の解析結果 45

2.2.4 判断の対象となるべき他船の抽出 48

2.3	見張りの信頼度	59
-----	---------	----

2.3.1	故障率	59
-------	-----	----

2.3.2	信頼度	69
-------	-----	----

3. 考 察

3.1	判断基準の考察	72
-----	---------	----

3.1.1	危険レベルの意義	72
-------	----------	----

3.1.2	危険レベルの考察	74
-------	----------	----

3.1.3	識別要素の考察	78
-------	---------	----

3.2	解析方法と結果について	80
-----	-------------	----

4.	結 論	84
----	-----	----

あ わ り に	86
----------	----

参 考 文 献	88
---------	----

付 録	90
-----	----

はじめに

見張りは、船舶の運航に従事する操船者が果す最も基本的な機能の一つである。船舶の大型化、高速化さらには船舶交通量の増大等にもとない、見張りの重要性は増加してきていると考えられる。

操船者が行う見張りは、単に衝突や乗揚げを回避するための見張りだけでなく、船体の動揺や波浪の状況を判断し、これにもとづいた処置をとるといった船舶を安全に運航するための見張りも含まれると考えられ、見張りの果している機能は、きわめて広い範囲にわたっているとみることができるといえる。

近年、船舶に電子計算機等を導入することにより、船舶を自動化しようとする傾向は活発であり、機関制御システム、荷役制御システムの自動化から船位決定システム、無線通信制御システムへと進んできている。このような動向は、船舶システムと人間・機械システムとしてみるときに、人間と機械

の役割り分担の比重が、次々に機械へ移行しつつあることを示していると考えることができる。こうした人間・機械システムにおける役割りの移行にあたっては、システム内における人間と機械それぞれの機能も十分に検討したうえで、最も適切な方法が考慮されるべきであろう。

本論は、こうした観点から、これまで人間の果たしている機能が明確にされていながったとみられる見張りをとりあげて、その機能を解析しようとするものである。

操船者は、他船との出会いにおいて、さまざまな情報を収集しながら衝突の危険を判断し、これにもとづいた処置をとると考えられる。このような一連の作業が“衝突回避のための見張り”といわれるものである。

多数の船舶が存在する水域では、通常、それぞれの船舶が一定距離以上の間隔を保ちながら船舶交通流を形成していると考えられているが、この現象は、こうした見張りが、ある判断基準

をもって実行されている結果ともみることができよう。

ここでは、この判断基準を他船の距離との対応でとらえ、多数の操船者の意見を集めることにより、これを明らかにし、ここで求めた基準によれば、実船の見張りでの衝突の危険の判断がどの程度の正確さで行われているかを検討した。

人間・機械システムである船舶システムのなかでも、見張りは人間の果たす役割りが重要であるとみられているので、とくに信頼度解析の対象として、この見張りを選び、解析を試みた。

これまで、見張りに関連する現象を信頼性の立場から解析したものとして原⁽¹⁾や翁長⁽²⁾らの研究があげられるがこれらはいずれも、すでに起きた衝突現象から逆に衝突に至るまでの避航操船や視認方法について、信頼性理論を応用したものであるが、本論は、通常の運航状態にある実船におけるデータをもとに、見張りの信頼性を解析したものである。

1. 見張りの機能と調査

1.1 見張りの機能

衝突回避のための見張り（以下、単に見張りという）において、情報の収集から意図および行動の決定までの過程は、図1-1(1)のような流れ図で示すことができる。

図1-1(1)に示すそれぞれの段階で、どのような要素が影響するがについて検討すると、つぎに述べるようなことが考えられる。

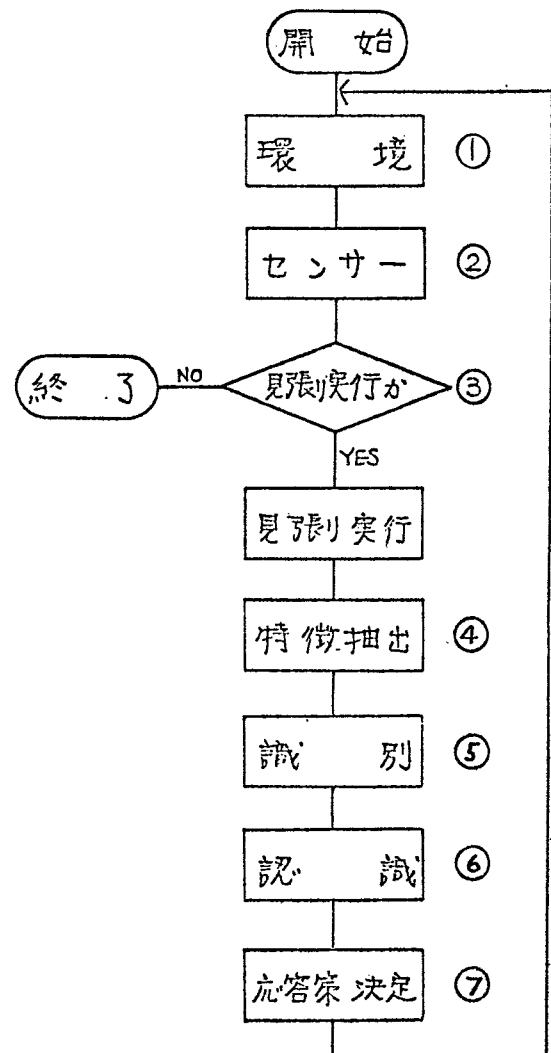


図 1-1(1) 見張りの流れ図

(1) 環境（流れ図中、① 参照）

見張りを実行する段階で入力されるデータであり、自船および

び周囲の条件として、つぎのよう
な要素が考えられる。

- i) 自船の船種・船型
- ii) 自船の操縦性能
- iii) 自船の針路・速力
- iv) 自船の船位
- v) 船舶のかくそう度
- vi) 気象・海象状況
- vii) 海上交通法規
- viii) 時刻

(2) センサー（流れ図中、②参照）

情報の検出器であり、人間が
行う見張りでは、感覚器がセン
サーとして機能している。ここ
では、見張りに最も重要な役割
を果たしていると考えられる視覚
による見張りを考えることとす
る。

視覚に影響を及ぼす要素⁽³⁾と
して

- i) 視力
- ii) 視野

iii) 光覚

iv) 色覚

があげられ、また、ものが見えるための要素⁽⁴⁾として

i) 視角

ii) 照度

iii) 対比

iv) 露出時間

があげられる。

(3) 判断 (流れ図中、③参照)

航海において操船者が行う作業は、見張り作業のほか、船位測定作業や操船作業などがあげられる。ここでは、必要とされる作業の種類を選択する。

(4) 特徴抽出 (流れ図中、④参照)

特徴抽出とは「入力パターン」の持っている情報から、識別決定に役立つような特徴を選定すること⁽⁶⁾と考えられるが、その

ための基礎識別要素⁽⁵⁾として

- i) 色彩
- ii) 明るさ
- iii) 遠近
- iv) 位置
- v) 運動
- vi) 長さ
- vii) 大きさ
- viii) 形
- ix) 数字
- x) 文字

があげられ、これらの基礎識別要素の組合せ等により、見張りのための識別要素として、つぎのようなものが考えられる。

- i) 距離
- ii) 距離変化
- iii) 方位
- iv) 方位変化
- v) 針路
- vi) 針路変化
- vii) 種類

viii) 大きさ

(5) 識別 (流れ図中, ⑤参照)

識別とは、「特徴抽出の段階でとり出された特徴パラメータ(識別要素)とすでに持っているカテゴリーとの対応を統計的手法を用いてつけること」⁽⁵⁾と考えられるが、見張りにおけるカテゴリーとしてつぎのようなものがあげられる。

i) 見張りのための識別要素としてあげられた各要素

ii) 見合い関係

iii) 衝突の危険度

(6) 認識 (流れ図中, ⑥参照)

認識とは、「外界に与えられた任意の対象に対して、認識主体が自らの個体内に、その情報モデルを確立する操作のこと」⁽⁶⁾と考えられる。

(7) 応答策決定 (流れ図中, ⑦)

参照)

認識にもとづいて、対応する処置について意図および行動を決定することといえる。

このような検討の結果から、見張りにおける衝突の危険の判断は、特徴抽出と識別の段階でなされることがわかる。

1.2 見張りの故障

1.2.1 見張りの故障

前述したとおり、見張りのための識別要素として抽出される特徴は、他船の方位、距離、針路、速力およびそれぞれの変化、船の種類、大きさ等があげられるが、これらの要素のうち、衝突の危険を識別するための要素は、主として他船の「方位変化」と「距離変化」と考えることができる。すなわち「方位の変化がなく接近してくる」他船に対し、「衝突の危険がある」と判断されとみることができ。

これらのことから、衝突の危険の判断が正確に実行されているということは、抽出された衝突の危険の識別要素と識別のためのカテゴリーが、ある判断基準のもとで適確に対応している場合であるといえる。

一般的には、衝突の危険を有する——方位の変化がなく接近してくる——他船に対し、距離が接近すればするほど、判断される危険度が高くなると考えられるから、衝突の危険を有する他船に対し、その距離と判断された危険度がある判断基準のもとで対応していない場合は、見張りの失敗とみることができ、こうした見張りの失敗を、ここでは見張りの故障と定義する。

1.2.2 見張りの故障と衝突

見張りの故障を上述のとおり定義した場合、見張りの故障と衝突という現象はどのような関連を持つかについて、検討を加えてみる。

1.2.1 における見張りの故障の定義

は、たとえば、距離が接近しているにもかかわらず危険度が低く判断されていたり、逆に危険度の判断に対応する距離より他船が近い距離にある場合を、対応がとれていないとして、故障と判定することを意味している。したがって見張りの故障は、「衝突の危険を有する他船との接近において、危険度に対応する距離より内側へ他船の侵入を許したこと」と考えることもできる。

いま、衝突の危険度が著しく高い場合を想定すると、これに対応する他船の距離は、きわめて近い距離になることが考えられる。こうした場合に見張りが故障したとすれば、他船は、さらに自船に接近した状態で存在することになる。このように考えれば、危険度の著しく高い状況における見張りの故障、換言すると、自船から至近距離における見張りの故障が衝突という現象を生ずる、と仮定することができる。

上述のような仮定をおいた理由は、衝突の危険の判断の正確さを実船データから検討する場合、自船からきわめて近い距離における実船データは得ら

れないであらうと予想されたためであり、こうした仮定をおくことにより、実船で得られるデータから、さらに近い距離での見張りの正確さを推定することが可能になるであらうと考えたからである。

1.3 調査

1.3.1 判断基準に関する調査

見張りの故障を判定するには、まず危険度に対応する距離として示される判断基準が明らかにされなければならない。そこで、つぎに述べるような方法により、多数の操船者から、衝突の危険度と他船の距離に関する意見を集め、これらの意見から基準を導き出そうと試みた。

調査方法は、付録Ⅰに示す調査票を用いて、個人面接による質疑応答の形をとった。調査票の冒頭に述べてあるとおり、設問の状況を、剣崎沖から紀伊半島、御崎沖に至る常用沿岸航路を航

海中として設定してある。これは、見張りが環境にきわめて大きく影響されること、したがって判断基準もまた、環境に依存していると考えられることから、後述する奥船調査との対応を考慮したためである。

衝突の危険を識別するためのカテゴリー - と考えられる衝突の危険度を

レベル 1 : 衝突のおそれを生ずる可能性がある。

レベル 2 : 衝突のおそれがある。

レベル 3 : 衝突の危険がある。

の 3 レベルにわけ、また、もう一つのカテゴリー - である見合い関係を

反 航

横 切

同 航

に分類し、それぞれの見合い関係について、衝突の危険のレベルに対応する距離（以下、基準距離という）についての意見を集めた。

調査対象の内訳を表1-(1)に示す。

図1-(2)は調査対象者の入社後年数、図1-(3)は来船年数、図1-(4)は現在の転掌、図1-(5)は受有する海技免状の種類について、それぞれ相対度数分布で示してある。これらによると、平均8年の来船経験をもつ操船者の意見をまとめたと考えられる。

		回答者数	
所 属	航海訓練所	19	計 74
	日本郵船	6	
	ジャパンライン	9	
	商船三井	9	
	昭和海运	9	
	川崎汽船	9	
	山下新日本	9	
主たる 来船経験	大きさ	練習船	1600 ^{G/T} ~ 5000 ^{G/T}
		社 船	4000 ^{DWT} ~ 27万 ^{DWT}
	種類 速力	練習船	7.5KT ~ 17.5KT
		社 船	10KT ~ 27KT 貨物船・コンテナ船・タンカー 銻石船・材木船・LPG船

表1-(1) 調査対象の内訳

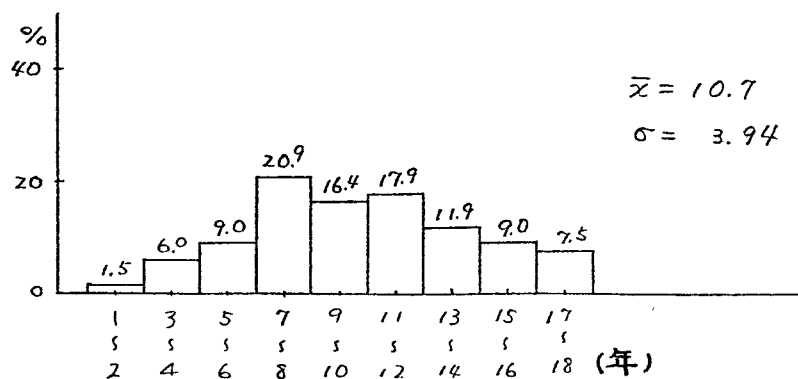


図 1-(2) 入社後年数

(図中の \bar{x} は平均値,
 σ は標準偏差である)

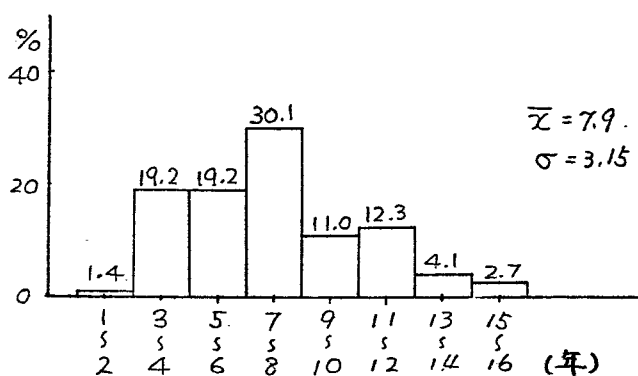


図 1-(3) 乗船年数

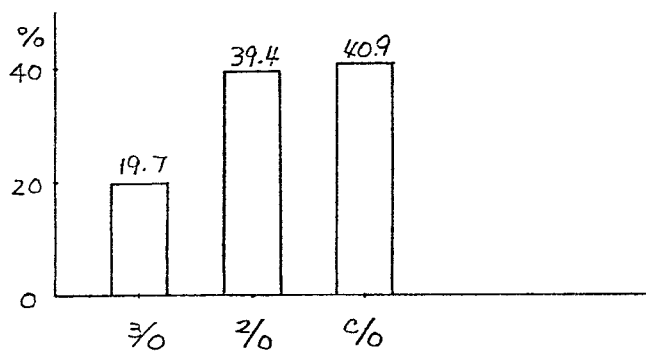


図 1-(4) 取手

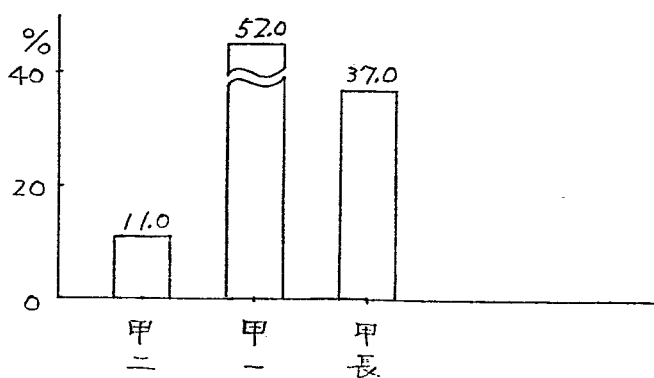


図 1-(5) 受有海技免状

1.3.2 見張りに関する実船調査

(1) 調査の対象と方法

実船での見張りにおいて、衝突の危険の判断がどの程度の正確さで実行されているかを検討するために、以下に述べるような方法により実船調査を実施した。

調査は、航海訓練所練習船進徳丸を供試船とし、昭和54年4月4日～5日および6月21日～22日の2回実施した。表1-(2)-aに供試船の主要目等を、表1-(3)には調査期間中の気象・海象条件等を示した。図1-(6)は、調査時における供試船の航跡図であり、図中の各主要変針点付近に示し

建造所		日本鋼管(株)鹿児島造船所	
竣工		昭和37年12月	
全長		100.8 m	
垂線間長		90.0 m	
型幅		14.5 m	
深さ		7.0 m	
吃水		5.1 m	
総トン数		3462.6 G/T	
純トン数		934.8 N/T	
方形係数		0.60	
柱形係数		0.62	
船	型式	流線型平衡舵	
	面積	7.487 m ²	
	面積比	1/61.31	
主機	型式	6 UET 45/75	
	軸馬力	N.C.R 2300	M.C.R 2700
	回転数	214	225
プロペラ	型式	4翼1体	
	直径	3.050 m/r1	
	ピッチ	2.103 m/m	
換舵機		S-12 5.5kW 電動油圧	
旋回圏	舵角 左35°	MAX.TACTICAL DIA	419 m
		MAX. ADVANCE	318 m
	右35°	MAX.TACTICAL DIA	401 m
		MAX. ADVANCE	377 m

表1-(2)-a 供試船の主要目等

た太線は、日本船長協会が設定している通航分離水域⁽⁷⁾を概略の位置で示している。

表 1-(3) 気象・海象 条件等

オ 1 回 調 査						オ 2 回 調 査					
時 刻	風 向	風 力	天 候	海面状態	視 程	時 刻	風 向	風 力	天 候	海面状態	視 程
1800	East	3	0	slight	9	0800	SS E	6	C	mod.	7
1900	East	3	0	slight	9	0900	South	5	C	mod.	7
2000	East	4	C	slight	9	1000	South	6	C	mod.	7
2100	N E	4	C	slight	9	1100	South	4	bc	mod.	8
2200	N E	4	0	slight	9	1200	SS W	4	bc	mod.	8
2300	ENE	4	0	slight	9	1300	S W	4	bc	mod.	8
2400	ENE	5	0	slight	9	1400	S W	4	bc	slight	8
0100	ENE	5	0	mod.	8	1500	S W	3	bc	slight	8
0200	ENE	5	0	mod.	9	1600	WSW	4	bc	slight	8
0300	East	5	0	mod.	9	1700	S W	4	bc	slight	8
0400	ENE	5	0	mod.	9	1800	S W	4	bc	mod.	8
0500	N E	5	r	rough	6	1900	S W	4	bc	mod.	8
0600	ENE	5	r	mod.	6	2000	S W	4	bc	mod.	8
0700	N E	6	r	rough	6	2100	S W	4	bc	mod.	8
0800	N E	6	r	rough	6	2200	S W	4	bc	mod.	8
0900	N E	5	r	rough	6	2300	S W	4	bc	mod.	8
1000	N E	5	r	rough	6	2400	S W	4	bc	mod.	8
1100	N E	6	0	rough	6	0100	S W	4	bc	mod.	8
						0200	WSW	4	b	mod.	8
						0300	WSW	4	bc	slight	8
						0400	S W	4	bc	slight	8
						0500	S W	4	bc	slight	8
						0600	S W	4	bc	slight	8

視程は、風際可視度規程による規定値で示した。

6 : 視程 4~10 km
 7 : 10~20
 8 : 20~50
 9 : 50 以上

1 回目の調査は剣埼から檜野埼へ向う西航、2 回目には、紀伊日ノ御埼から剣埼に向う東航であり、同船の採用した航路は、上記の通航分離水域を考慮した常用沿岸航路と考えられる。また、図 1-(6) から、1 回目は陸岸への接航航路、2 回目は潮岬から神子元島へ向う直航航路という特色をあげることができよう。

第 1 回調査における航走距離は 200 マイル、観測時間 17 時間、平均速力 11.76 ノット、第 2 回調査では、それぞれ 295 マイル、22 時間、13.41 ノットであった。また表 1-(3) に示す気象条件等から明らかのように、全観測時間 39 時間のうち、第 1 回調査の後半約 5 時間は、やや視界が悪い条件となった以外、とくに見張りが制限された状態ではなかったといえる。表 1-(2)-b には、見張り記録を実行した供試船の 3 名の航海士について、乗船年数等を示した。

	現在の職務	乗船年数	受有海技免状	視力	色神
航海士 A	二航	4 年	甲一	右 1.5 左 1.5	正常
B	二航	5.4 年	甲一	右 2.0 左 2.0	正常
C	三航	5 年	甲二	右 0.8 左 1.2	正常

表 1-(2)-b 調査対象者の乗船年数等

調査方法は、付録Ⅱに示す見張り作業記録紙への記録およびレーダ映像の連続写真撮影が主なものである。

見張り作業記録紙は、見張り作業中の航海士が実行すると考えられるさまざまな判断を、そのつど記録する様式としてある。このうち、衝突の危険の判断については前述の判断基準の調査の調査と対応させて、他船の見合い関係を反航、横切、同航に分類し、危険度をレベルⅠからレベルⅢにわけ、判断に応じて選択、記録するようにしてある。

レーダ映像の写真撮影は、三光精密工業株式会社製のレーダ連続撮影装置と、モータドライブ付ニコンF(35mmサイズ、使用レンズ28mm、F3.5、フィルムコダック・トライX長尺フィルム)を使用した。供試船の装備しているレーダ装置の主要目は、つぎのとおりである。

i) 型式 東京計器(株)製

MR-160型 マリンレーダ

ii) 指示方式 P P I 方式

iii) 距離範囲 0.5-1.5-3-6-12-
24-48-96 マイル

iv) 距離分解能 15m 以下

v) 最小探知距離 20m 以下

vi) 方位確度 1° 以下

撮影は、レーダレンジを12マイル、
相対方位指示とし、2分間隔・3回の
多重露出により行った。図1-(7)は、撮
影したフィルムを印画した一例である。

(2) 見合い関係の分類

調査対象である3名の航海士が、反
航、横切、同航という見合い関係をど
のような基準で分類したかを、別途調
査した。

この調査は、見合い関係の分類基準
を記述することと、自船の周囲にさま
ざまな姿勢をもたせた30隻のモデルを
配置させた模型図を用いて、これうの
モデルを上述の見合い関係で分類する

ことによった。

(3) レーダ写真の解析方法

レーダ写真の撮影では、6分間に1枚のフィルムが送られるようになっており、第1回調査 170枚、第2回調査 220枚 計 390枚の写真を得た。

フィルムには図1-(7)に示したように、他船の映像が2分間隔の輝点となって連続して3個、撮影されている。

フィルム上の他船の運動は、4分間の相対ベクトルとして表示されたことになる。輝点の座標を読みとり、相対ベクトルを計算し、これに自船ベクトルを加減することにより他船の真運動を計算した。こうして読みとった4分間ベクトルの数は、合計 7615個となり、これらをデータカード化し、真運動の計算等を電子計算機で処理した。

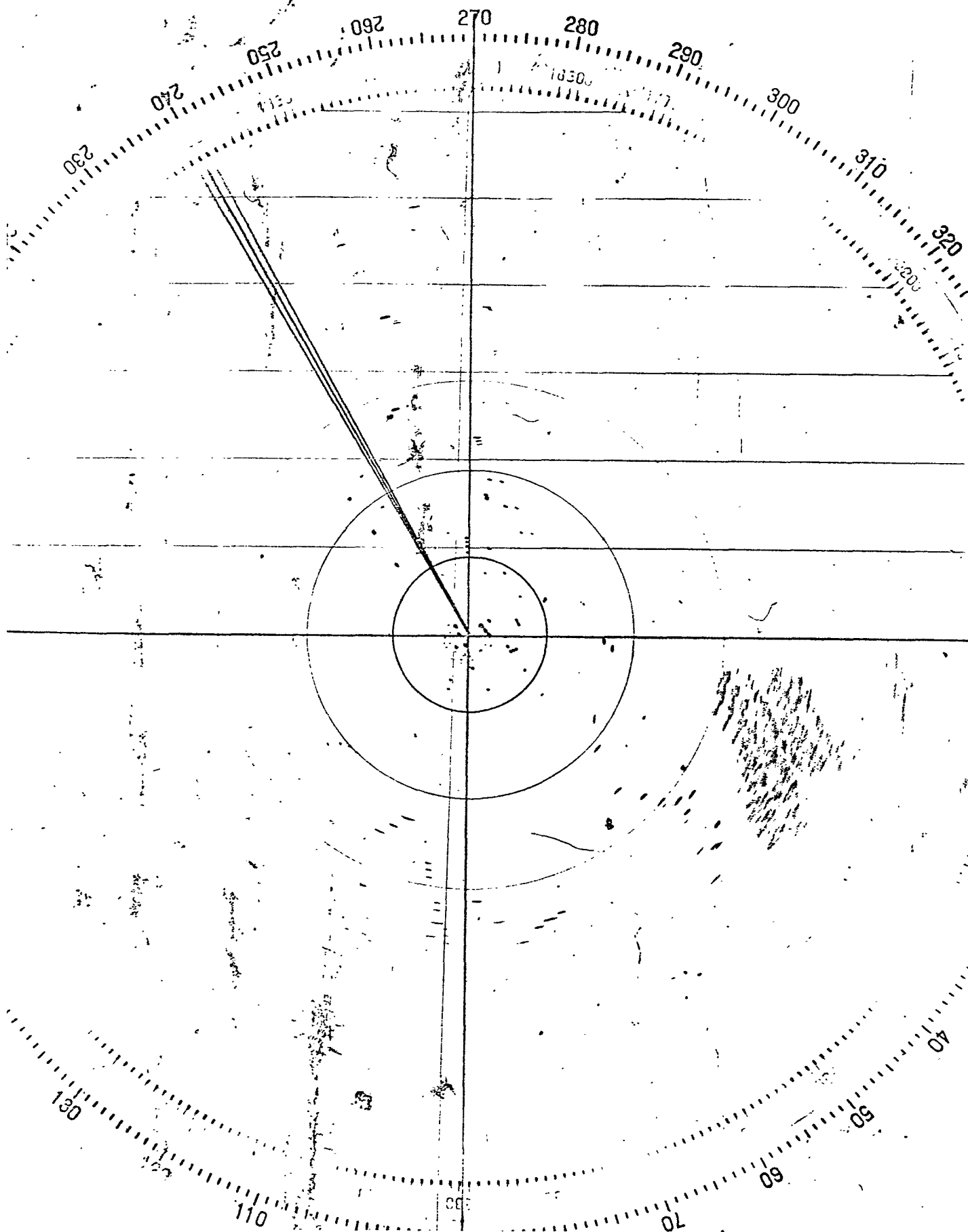
また、一隻の船の軌跡は、輝点を連続してトレースする方法により求めた。

トレースにより得られた他船の隻数は、第1回調査で 416隻、第2回調査では 361隻となり、それぞれは、調査期間

中に供試船が自船の周囲、12 マイルの
水域内で出会った船舶隻数と考えられ
る。

04 174200

図1-(7) レーダ写真



2. 判断基準と信頼度

2.1 判断基準の解析

2.1.1 調査結果

判断基準に関する調査の結果を、表 2-(1) および図 2-(1) から図 2-(3) に示した。

表 2-(1) は、回答された基準距離の算術平均値および標準偏差を示し、図 2-(1) から図 2-(3) は、基準距離を相対度数分布としてあらわしたもので、図 2-(1) は反航船、図 2-(2) は横切船、図 2-(3) は同航船に対する基準距離であり、各図の a, b, c は、それぞれ危険のレベル 1, レベル 2, レベル 3 に対応している。

回答者の母集団は、船会社 55 名、航海訓練所 19 名と、回答者の所属で大別できる。前者は主として大型・高速船の乗船経験を有し、後者は中型・中低速船の経験を母体にしていると考えられる。そこで、表 2-(2) には、後者のみについて回答の平均、標準偏差を示した。

		反 航	横 切	同 航
レベル 1	N	65	65	59
	\bar{x}	8.08	7.00	4.11
	σ	3.59	3.05	2.48
レベル 2	N	66	66	62
	\bar{x}	4.65	4.21	2.23
	σ	2.03	1.84	1.31
レベル 3	N	66	66	65
	\bar{x}	2.39	2.35	1.25
	σ	1.08	1.04	0.82

N : 回答数 \bar{x} : 平均値 σ : 標準偏差

表 2-(1) 基準距離の平均と標準偏差 (全対象者)

		反 航	横 切	同 航
レベル 1	\bar{x}	8.04	7.10	4.43
	σ	3.93	2.80	1.84
レベル 2	\bar{x}	4.66	4.22	2.20
	σ	1.72	1.43	1.08
レベル 3	\bar{x}	2.38	2.30	1.11
	σ	1.02	1.00	0.49

\bar{x} : 平均値 σ : 標準偏差

表 2-(2) 基準距離の平均と標準偏差 (練習船のみ)

表 2-(1), 2-(2) を比較すると、どのカテゴリーにおいても基準距離はきわめて近い。この結果からだけでは明確な要因を指摘することはできないが、操船者のこうした問題に対する基本的な意識は、経験等によって左右されにくいものがあると推定される。

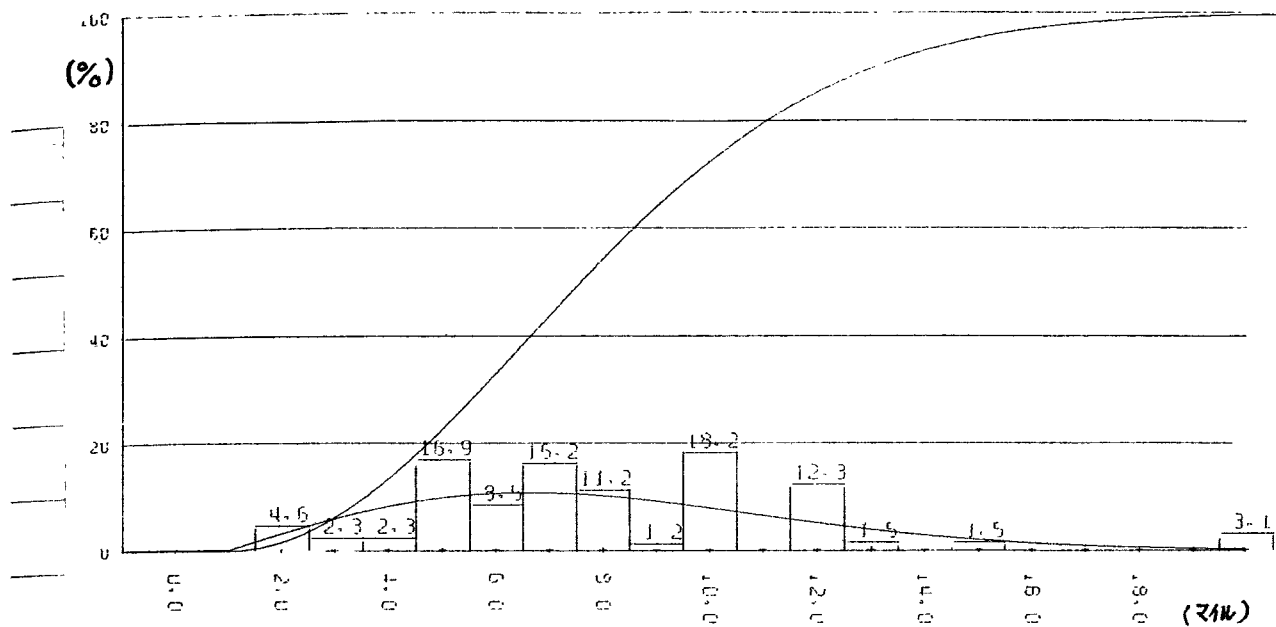


図 2-(1)-a 基準距離 反航船舶 - レベル1

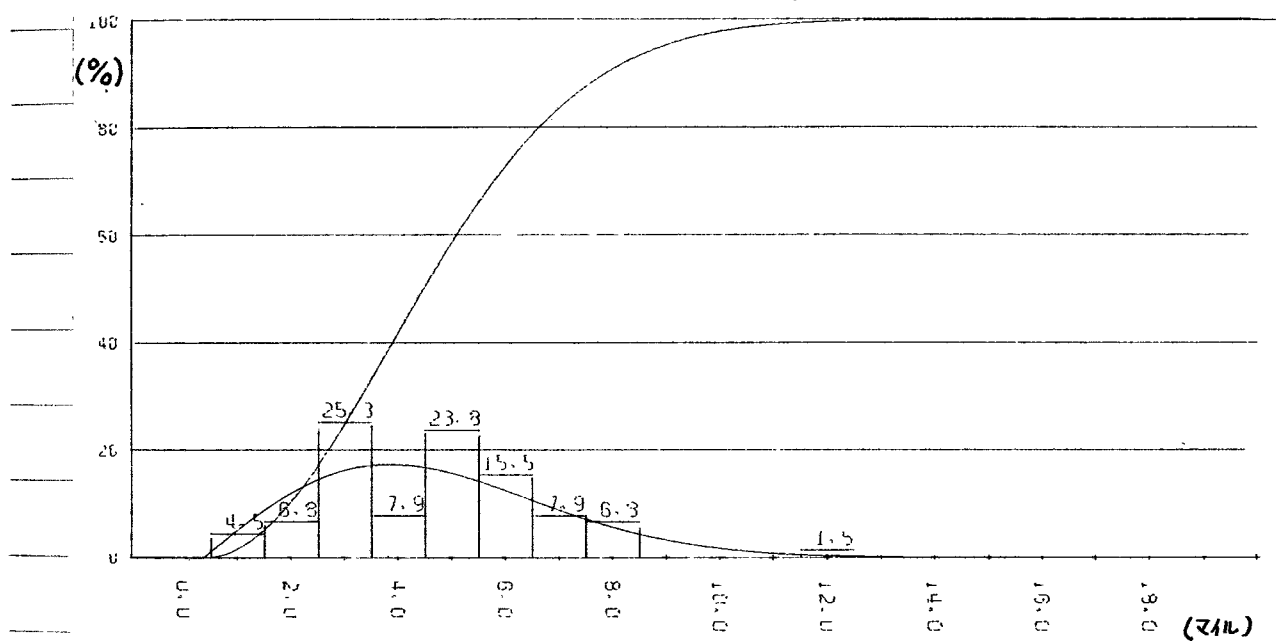


図 2-(1)-b

反航船舶 - レベル2

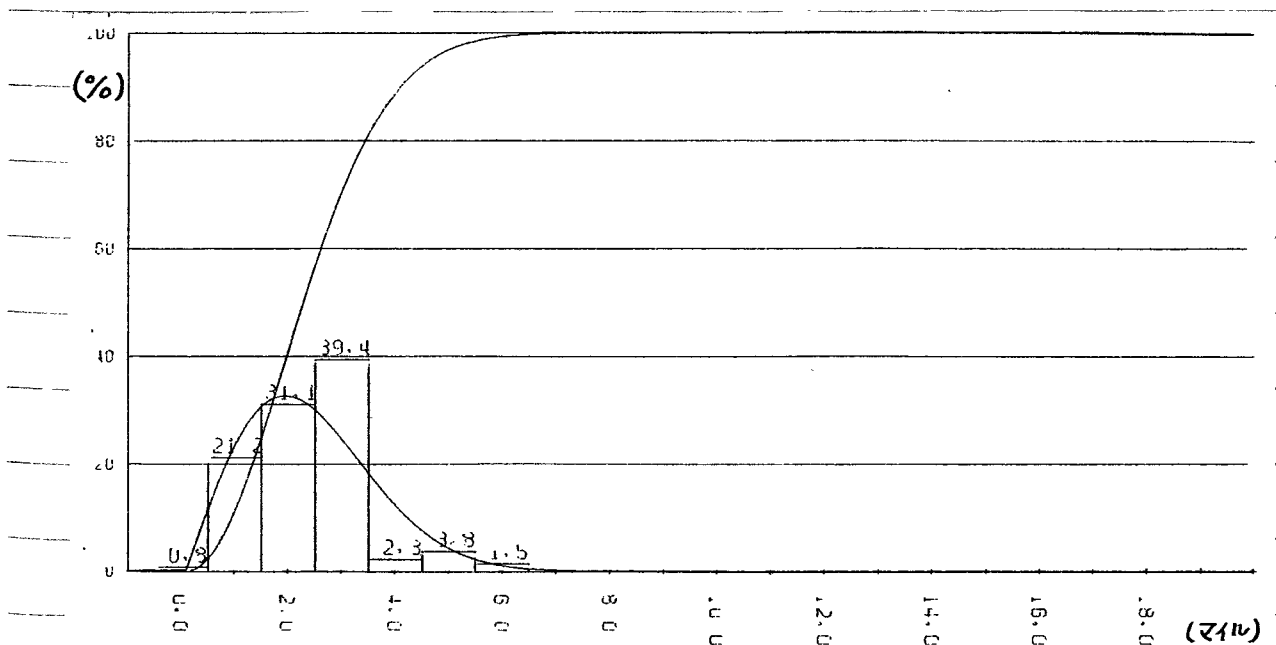


図 2-(1)-c

反航船舶 - レベル3

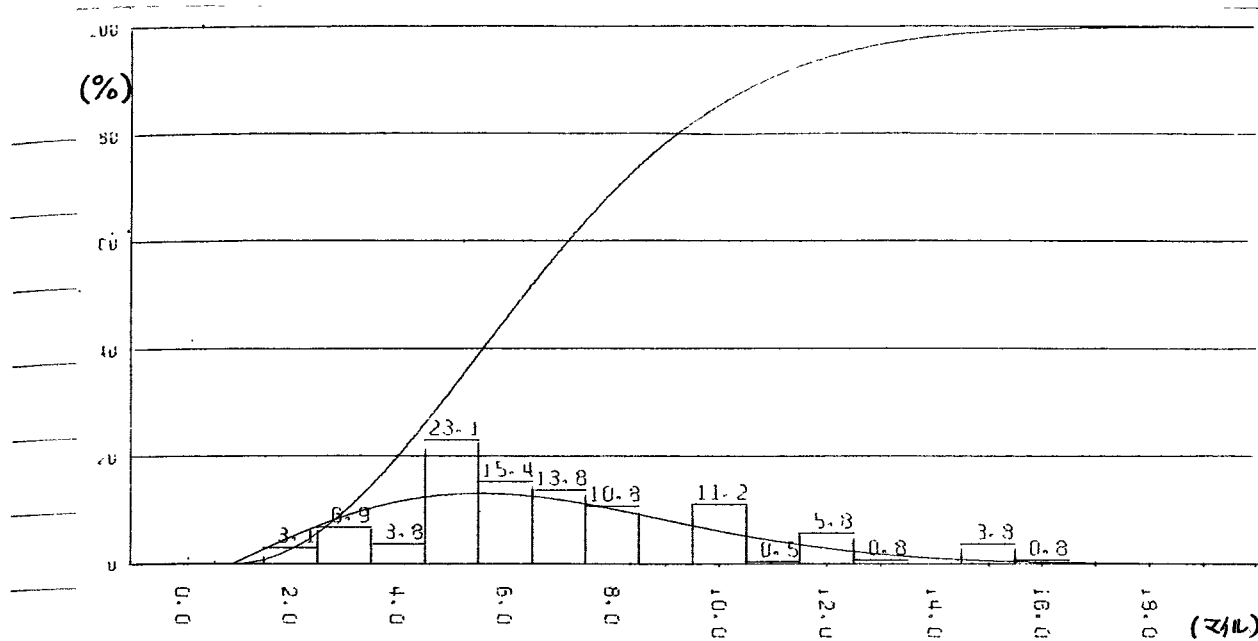


図 2-(2)-a 基準距離 横切船 - レベル 1

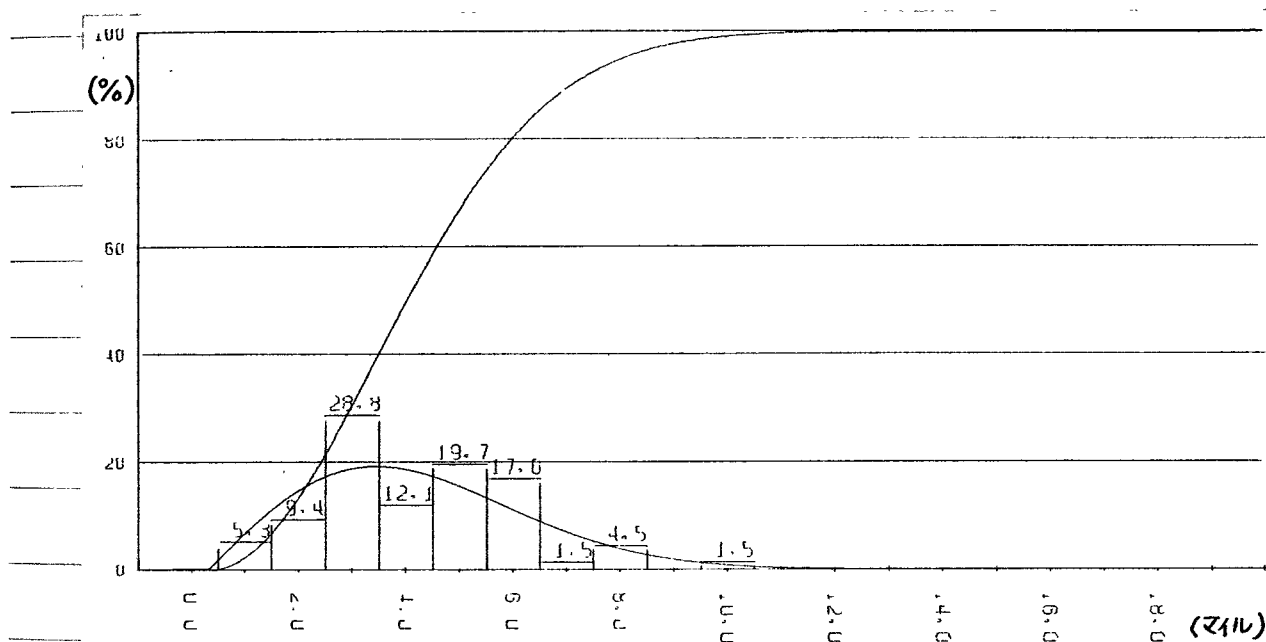


図 2-(2)-b 横切船 - レベル 2

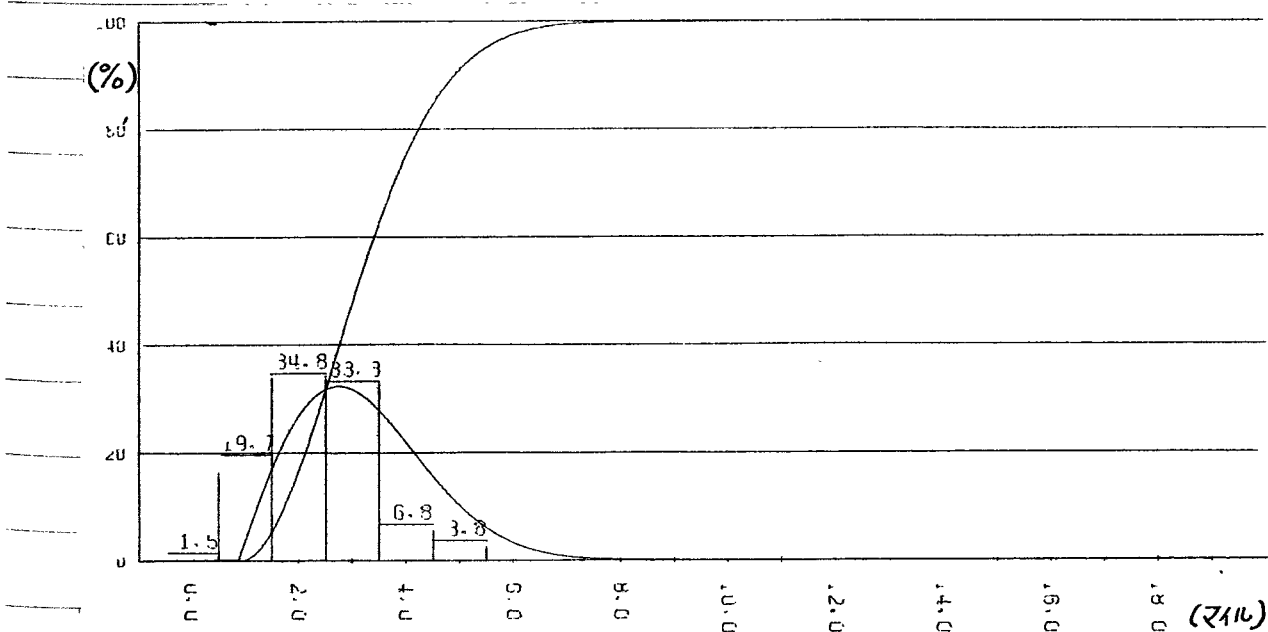


図 2-(2)-c 横切船 - レベル 3

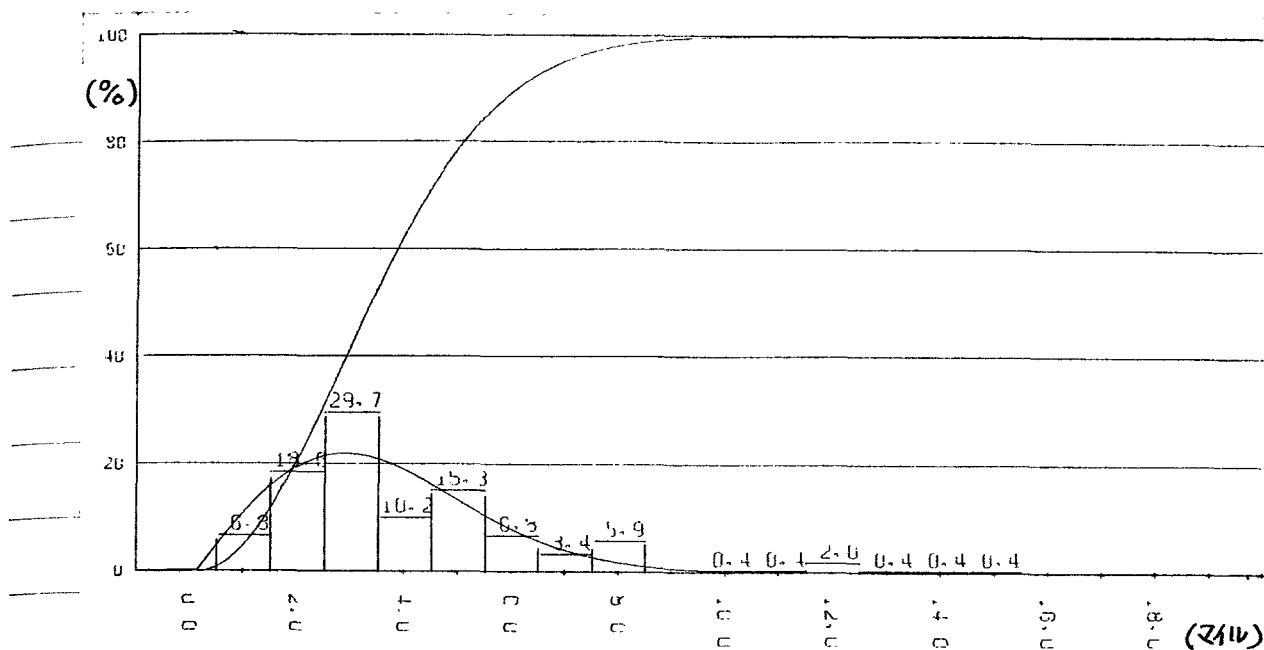


図 2-(3)-a 基準距離 同航船-レベル1

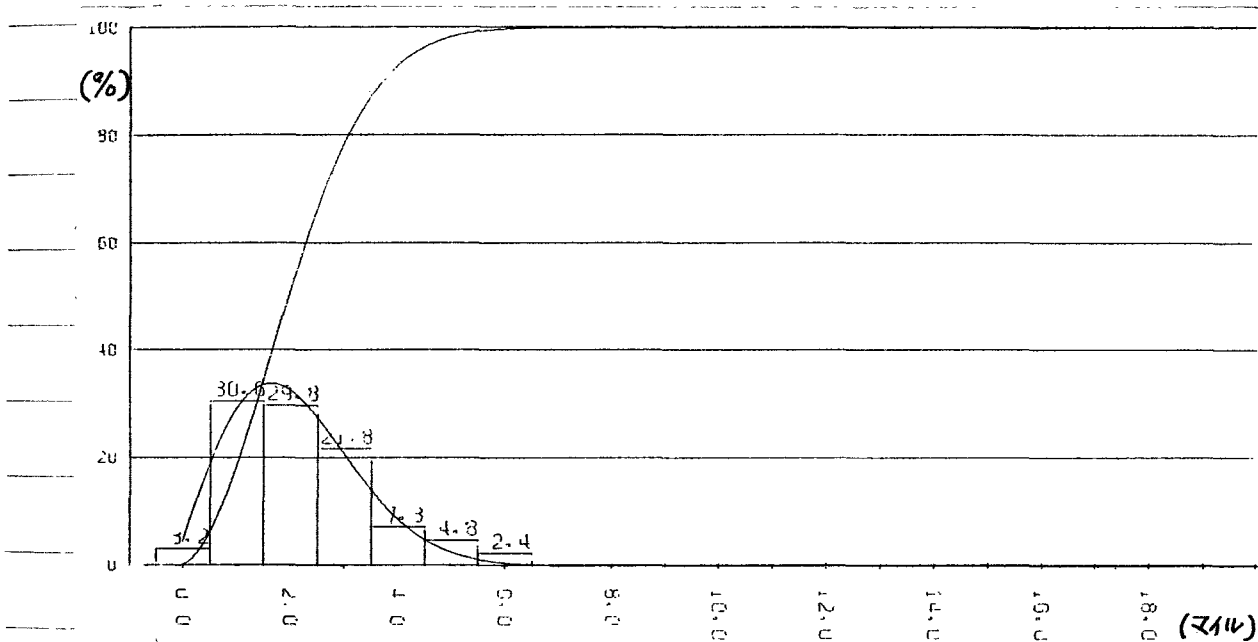


図 2-(3)-b 同航船-レベル2

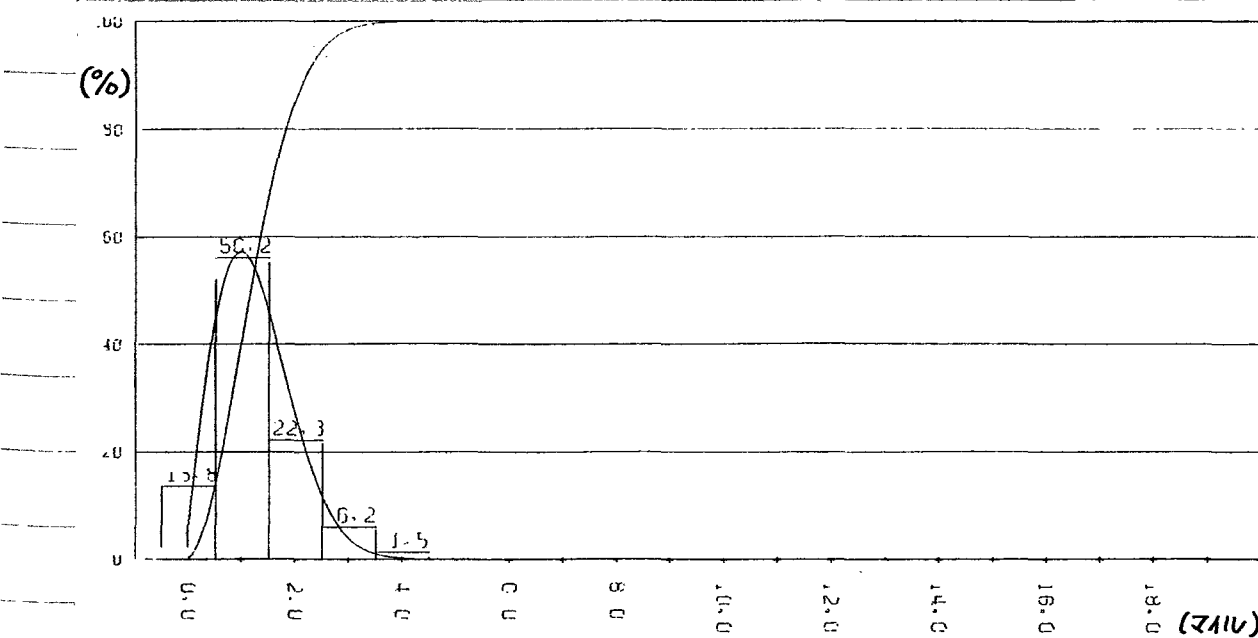


図 2-(3)-c 同航船-レベル3

2.1.2 分布のあてはめ

(1) 分布関数

度数分布のあてはめにあたっては、各種の分布関数のなかから、比較的よく分布をあらわしているとおもわれるレ-レ-分布関数を用いた。

レ-レ-分布関数⁽⁸⁾とは、確率密度関数を $p(x)$ 、累積分布関数を $P(x)$ としたときに、

$$p(x) = \frac{2x}{a^2} \exp\left(-\frac{x^2}{a^2}\right), \quad x > 0 \quad \text{--- (2.1)}$$

$$P(x) = \int_0^x p(x) dx = 1 - \exp\left(-\frac{x^2}{a^2}\right) \quad \text{--- (2.2)}$$

であらわされる分布であり、その期待値 $E(x)$ 、分散 $V(x)$ はそれぞれ

$$E(x) = 0.8862 a \quad \text{--- (2.3)}$$

$$V(x) = \left(1 - \frac{\pi}{4}\right) a^2 \quad \text{--- (2.4)}$$

であらわすことができる。

図 2-(1) ~ 図 2-(3) から明らかなように、
 x 軸の距離に対して y 軸の相対度数は、
 原点から連続していない場合もあるの
 で、あてはめにあたっては、(2.1) 式に
 横軸上の移動量をあらわす定数 b と導
 入し、(2.5) 式に変形したうえで、最小
 二乗法により係数 a , b を求めること
 とした。

$$p(x) = \frac{x+b}{2a^2} \exp \left\{ -\frac{(x+b)^2}{2a^2} \right\} \quad (2.5)$$

このようにして
 求めた係数 a , b の
 値を表 2-(3) に示す。

$p(x)$ を (2.5) 式の
 とおり変形したこ
 とにより、 $P(x)$,
 $E(x)$, $V(x)$ は、そ
 れぞれ (2.6), (2.7),
 (2.8) 式で示される。

表 2-(3) 分布関数の係数

見合い関係	レベル	a	b
反航	1	5.62	-1.00
	2	3.48	-0.39
	3	1.86	-0.10
横切	1	4.62	-0.93
	2	3.15	-0.33
	3	1.87	-0.08
同航	1	2.76	-0.13
	2	1.79	0.14
	3	1.06	0.16

$$P(x) = 1 - \exp \left\{ -\frac{(x+b)^2}{2a^2} \right\} \quad (2.6)$$

$$E(x) = 1.2533 a - b \quad \text{--- (2.7)}$$

$$V(x) = 0.4292 a^2 \quad \text{--- (2.8)}$$

(2) 分布の比較・検討

(1) によって近似した分布関数による累積分布曲線を比較・検討すると、つぎに述べるような点が考えられる。

図 2-(4) は、各見合い関係別に、3 レベルの累積分布曲線をまとめたものであり、 a 、 b 、 c は、それぞれ反航船、横切船、同航船を示している。

これらによれば、いずれの見合い関係においてもレベルが高くなるにしたがって、基準距離が小さくなり、かつ、分布のばらつきが少なくなる傾向がみられる。図 2-(4)- b 、横切船では、レベル 2、レベル 3 が 1 マイル付近で交差していることが認められるが、上述の傾向からすると、こうした現象は不自然と考えられるが、その原因は明らかでない。

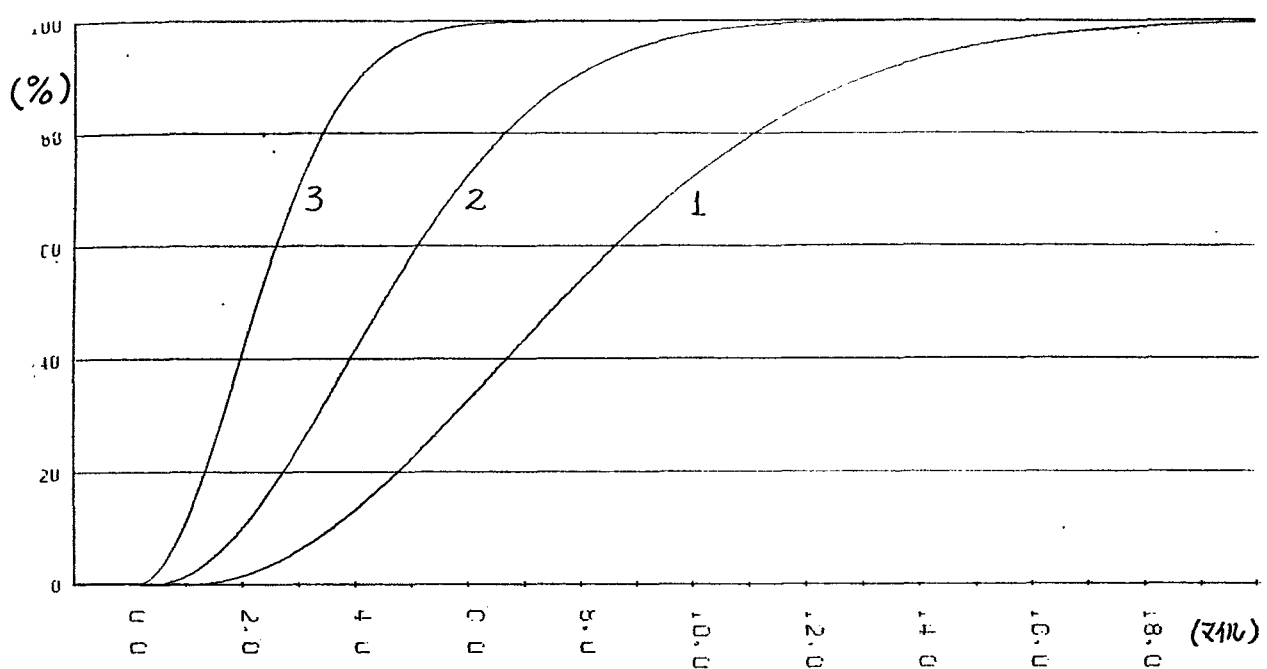


図 2-(4)-a 基準距離 累積分布 反航船

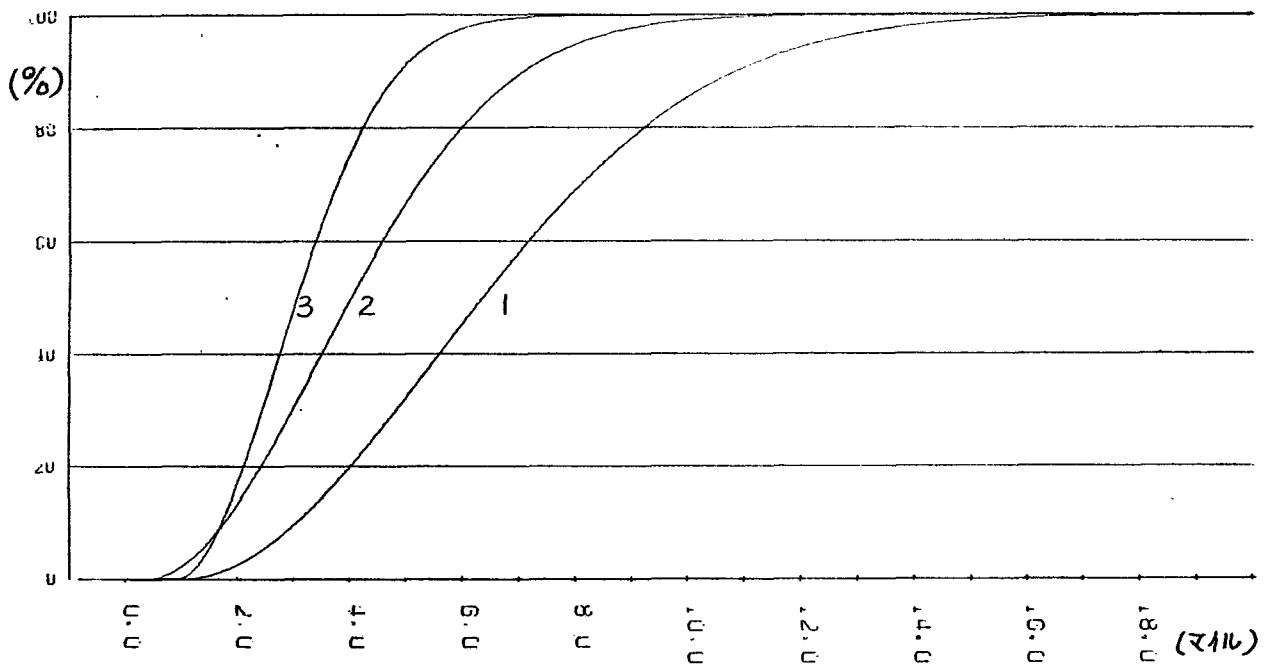


図 2-(4)-b

横切船

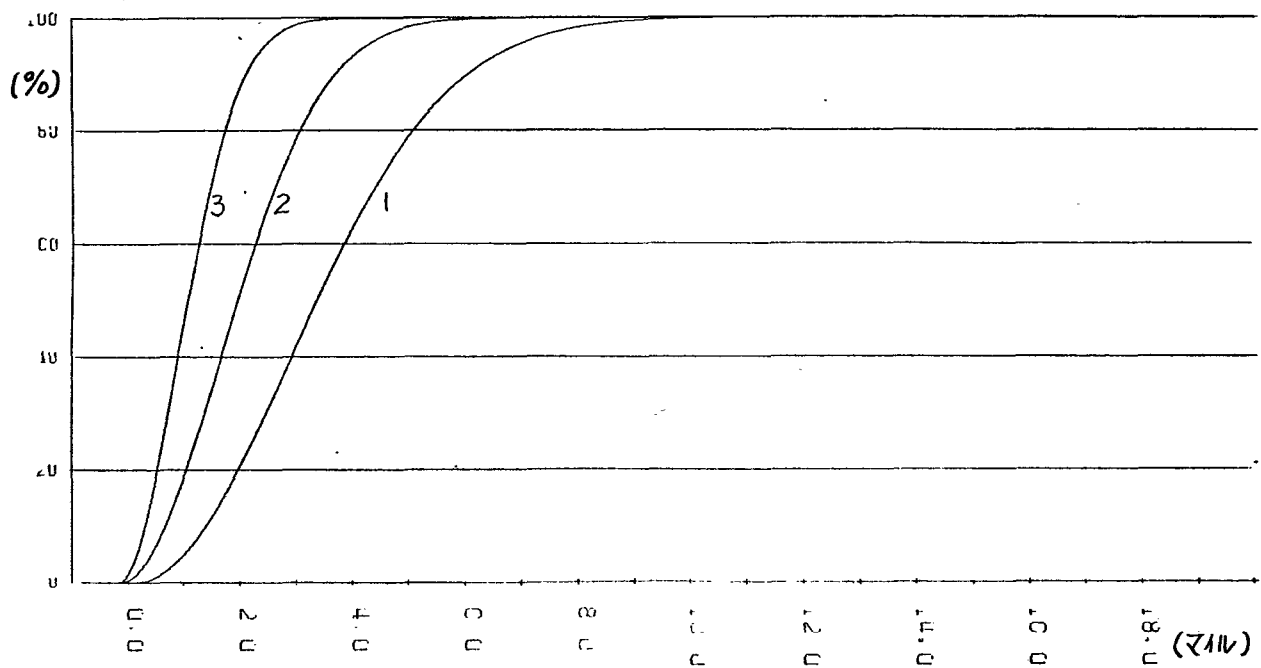


図 2-(4)-c

同航船

図 2-(5) は、各レベル別に 3 種の見合い関係について、累積分布曲線をまとめたものである。a, b, c は、それぞれレベル 1, レベル 2, レベル 3 を示している。

これらによると、見合い関係からみた危険度は、レベル 1, レベル 2 ともに反航—横切—同航の順で低くなっているのに対し、レベル 3 では、反航と横切の順が逆転している点が特徴といえる。これまでの結果からでは、明確な原因を指摘することはできないが、横切関係において、他船が至近まで接近した場合の避航操船は、一般的に大舵角による変針や機関の停止、あるいは機関の逆転といった大胆な処置が必要とされることが考えられるから、こうした状態にある横切船に対しては、反航船より、むしろ距離的余裕をとろうとしていることがうかがえる。

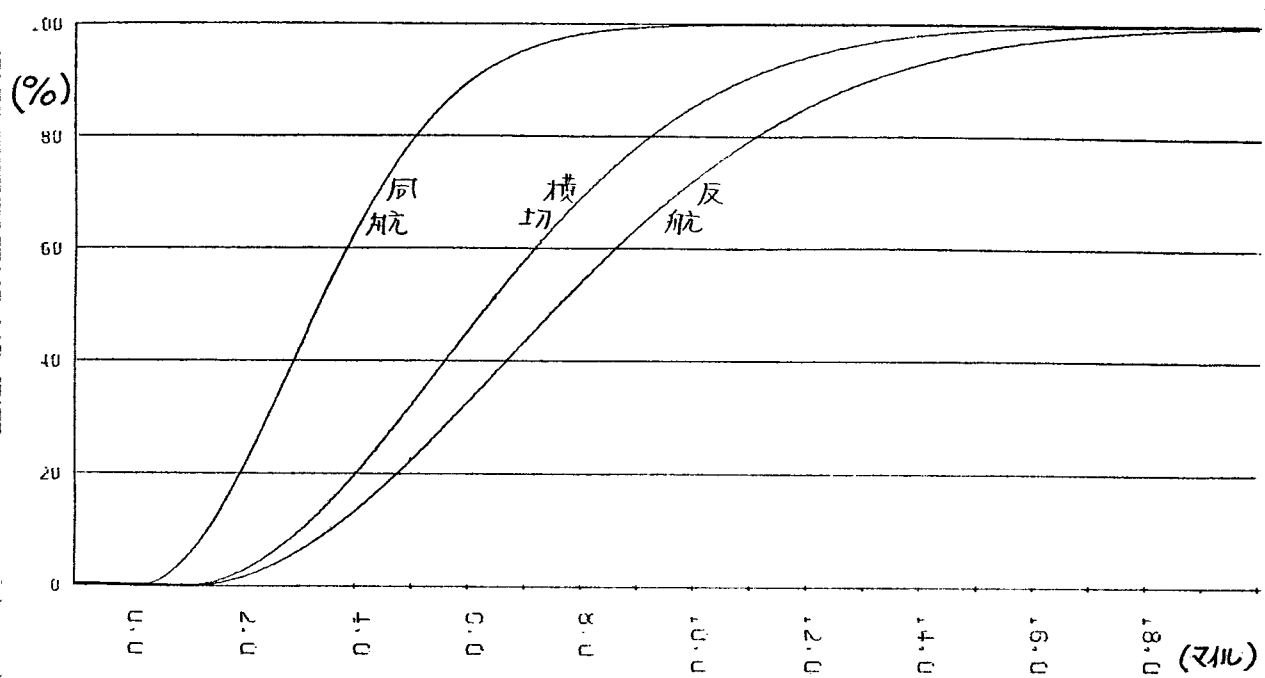


図 2-(5)-a 基準距離の累積分布 レベル 1

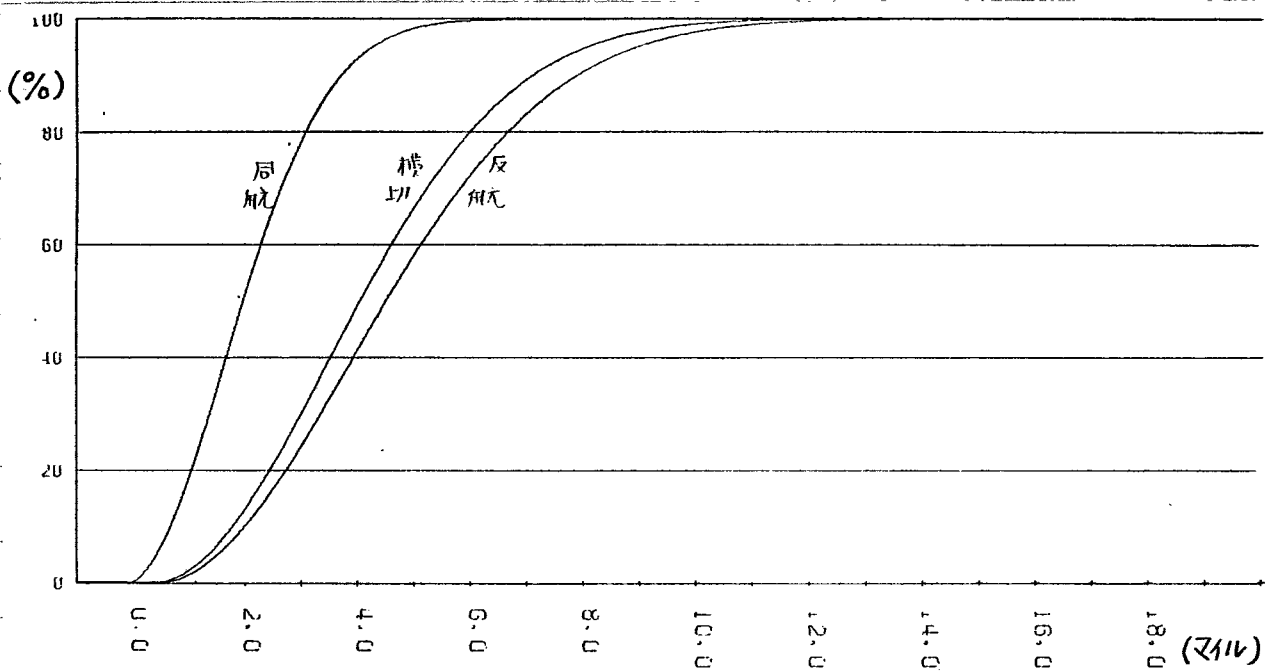


図 2-(5)-b レベル 2

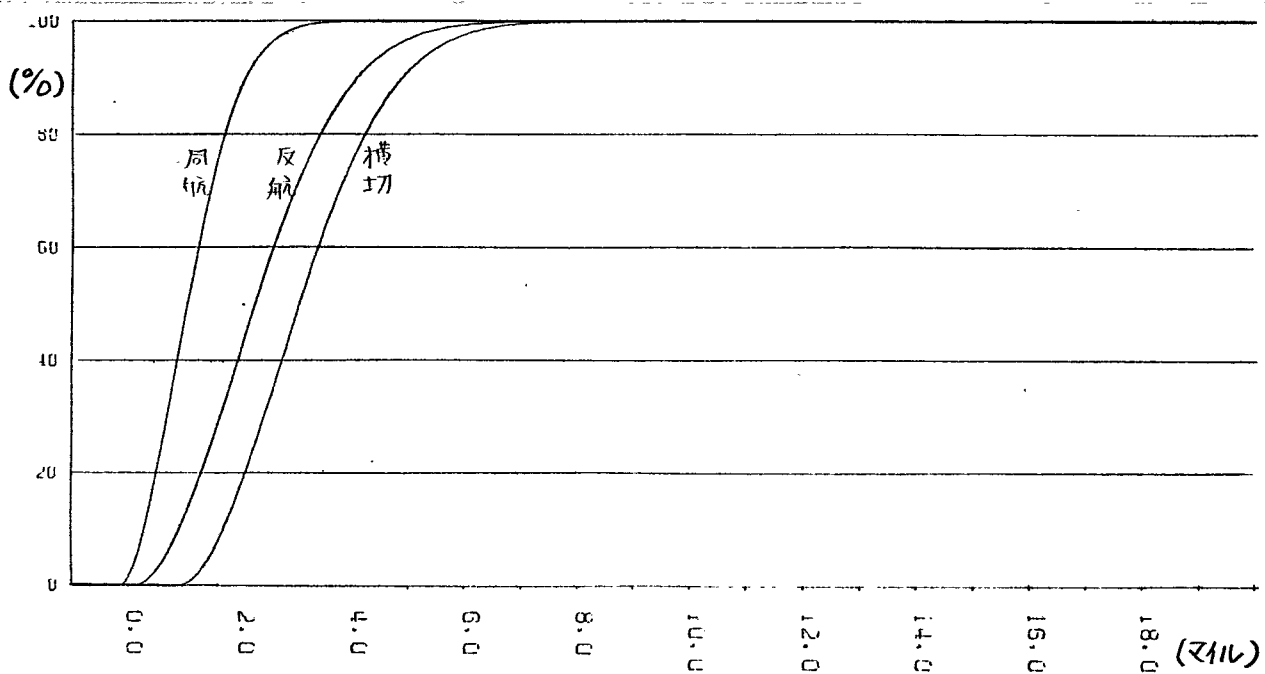


図 2-(5)-c レベル 3

2.1.3 判断基準の設定

(1) 判断基準

上述の結果から、つぎに述べる3種類の判断基準を設定した。

i) 基準Ⅰ：回答された基準距離の平均値によるもの

ii) 基準Ⅱ：分布関数の極大値によるもの

iii) 基準Ⅲ：分布関数の $E(X) - \sqrt{V(X)}$ によるもの

これにより設定した基準を表2-(4)に示す。

表2-(4) 基準距離

基準 レベル	反 航			横 切			同 航		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Ⅰ	8.1	4.7	2.4	7.0	4.2	2.4	4.1	2.2	1.3
Ⅱ	6.6	3.9	2.0	5.6	3.5	2.0	2.9	1.7	0.9
Ⅲ	4.4	2.5	1.2	3.7	2.2	1.2	1.8	0.9	0.5

(マイル)

基準Ⅰは、回答された意見の算術平均を用いたものであるが、近似した分

布関数から得られる $E(x)$ と比較すると、表 2-(5) のとおりとなり、同航一レベル 1 と横切一レベル 1 を除いて、その差は ± 0.1 マイルである。平均値と $E(x)$ がきわめて近いことがわかる。

レベル	反 航			横 切			同 航		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
基準 I	8.1	4.7	2.4	7.0	4.2	2.4	4.1	2.2	1.3
$E(x)$	8.0	4.8	2.4	6.7	4.3	2.4	3.6	2.1	1.2

(マイル)

表 2-(5) 基準 I と $E(x)$

(2) 基準の検討

基準のもつ意味を累積分布から検討するため、それぞれの基準における $P(x)$ を計算してみる。

$E(x)$ における $P(x)$ は、(2.7) 式を (2.6) 式に代入して得られる。

$$\begin{aligned}
 P(x) &= 1 - \exp \left\{ - \frac{(1.2533a - 8 + 8)^2}{2a^2} \right\} \\
 &= 1 - \exp \left\{ - 0.7854 \right\} \\
 &= 1 - 0.456 \quad \text{--- (2.9)}
 \end{aligned}$$

$p(x)$ が極大となるときの x を x_{\max} とすると, (2.5) 式より $p'(x) = \frac{d p(x)}{d x}$ は

求め, $p'(x) = 0$ とおいて x_{\max} が求められる。

$$\frac{d p(x)}{d x} = \frac{1}{a^2} \left\{ 1 - \frac{(x+b)^2}{a^2} \right\} \exp \left\{ 1 - \frac{(x+b)^2}{2a^2} \right\}$$

$$\frac{d p(x)}{d x} = 0 \quad \text{とおけば}$$

$$1 - \frac{(x+b)^2}{a^2} = 0 \quad \therefore x_{\max} = a - b \quad \text{--- (2.10)} \\ (x > 0)$$

x_{\max} における $P(x)$ は (2.10) 式と (2.6) 式に代入して得られる。

$$\begin{aligned} P(x_{\max}) &= 1 - \exp \left\{ -\frac{(a-b+b)^2}{2a^2} \right\} \\ &= 1 - \exp \{ -0.5 \} \\ &= 1 - 0.607 \quad \text{--- (2.11)} \end{aligned}$$

また, $E(x) - \sqrt{V(x)}$ は, (2.7), (2.8) 式より,

$$\begin{aligned} E(x) - \sqrt{V(x)} &= 1.2533 a - b - \sqrt{0.4292 a^2} \\ &= 0.5982 a - b \quad \text{--- (2.12)} \end{aligned}$$

となり、このときの $P(x)$ は、同様にして

$$\begin{aligned} P(x) &= 1 - \exp \left\{ - \frac{(0.5982a - b + b)^2}{2a^2} \right\} \\ &= 1 - \exp \{ -0.1789 \} \\ &= 1 - 0.836 \quad \text{--- (2.13)} \end{aligned}$$

このような結果から

i) 基準Ⅰは、分布関数の $E(x)$ にほぼ等しいことからして、約 45% を占める意見

ii) 基準Ⅱは、60.7% を占める意見

iii) 基準Ⅲは、83.6% を占める意見

とみることができると。

表 2-(4) に示されているとおり、各見合い関係、各レベルに対応する基準距離は、どの場合も基準Ⅰ > 基準Ⅱ > 基準Ⅲとなっており、基準Ⅰは、最も距

離的余裕をみたものと考えられる。

2.2 実船調査結果の解析

2.2.1 危険度判断の記録

見張り作業記録において、航海士が衝突の危険を判断した回数の合計は、レベル1：50回、レベル2：17回、レベル3：11回であった。

判断の対象となった他船をレーダ早真から抽出したのが図2-(6)-a, b, cである。a, b, cは、それぞれレベル1、レベル2、レベル3を示している。図中の丸印・三角印等は判断されたときの他船の位置を示し、これらからのびる線分は、当該船の6分間の相対ベクトルである。

図2-(6)では、他船の見合い関係を考慮していないので判断基準との対応はとれないが、危険のレベルが高くなるにつれて、他船の位置が自船の針路上に集まってくる傾向が指摘できると考える。

図 2-(6)-a 判断の対象となった他船の軌跡 レベル 1

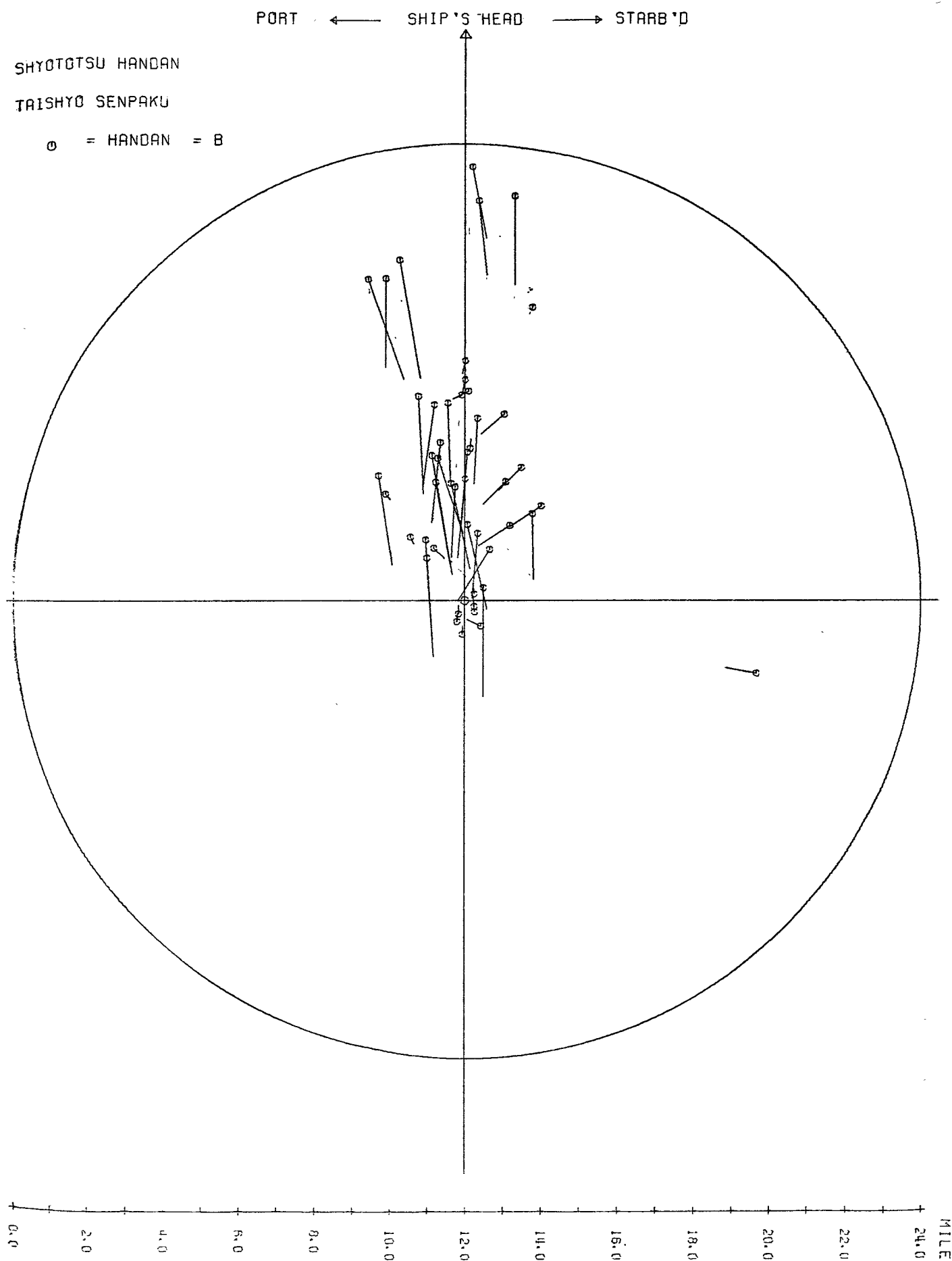


図 2-(6)-b

レベル 2

PORT ← SHIP'S HEAD → STARB'D

SHYOTOTSU HANDAN

TAISHYO SENPAKU

△ = HANDAN = C

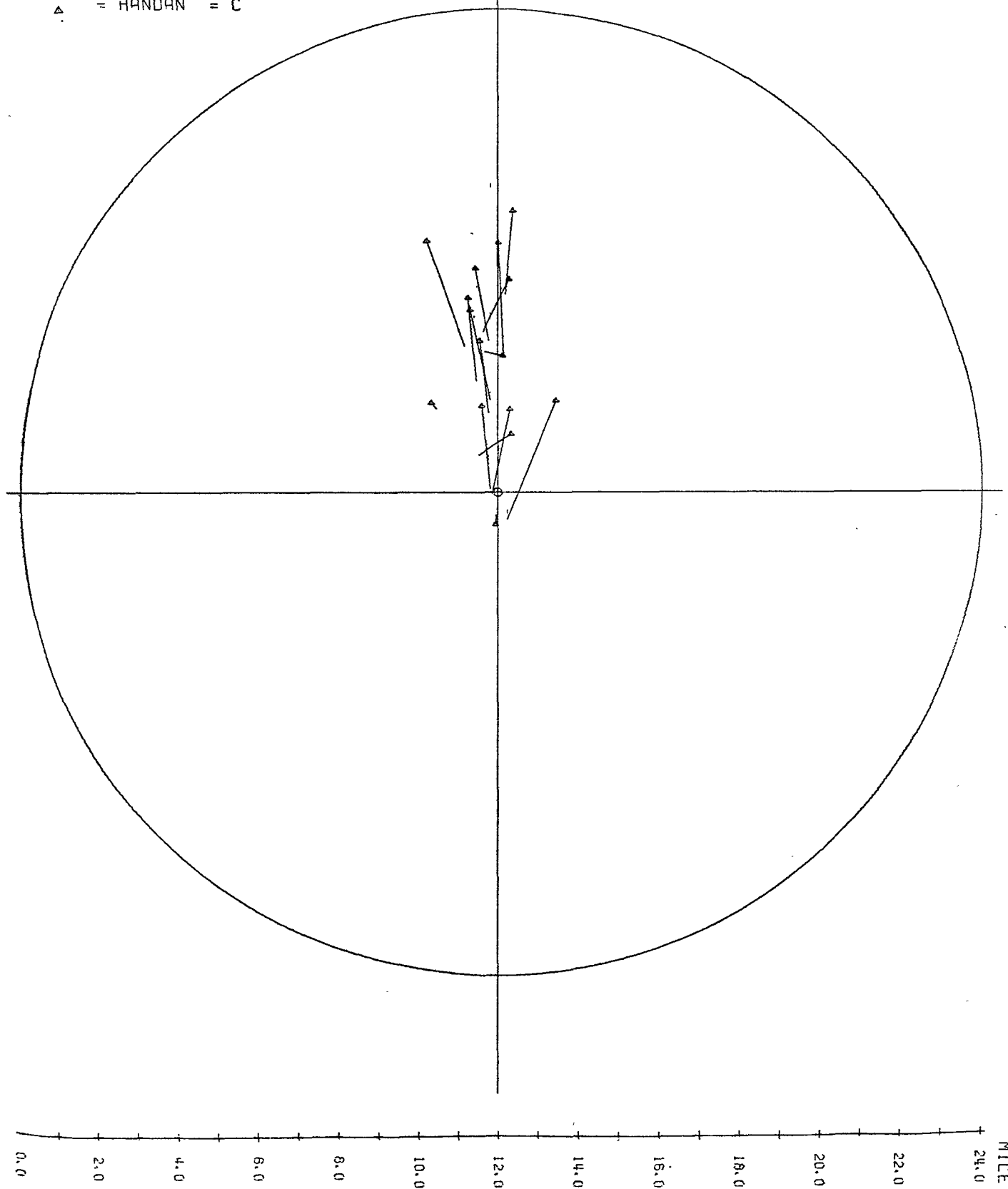


図 2-(6)-C

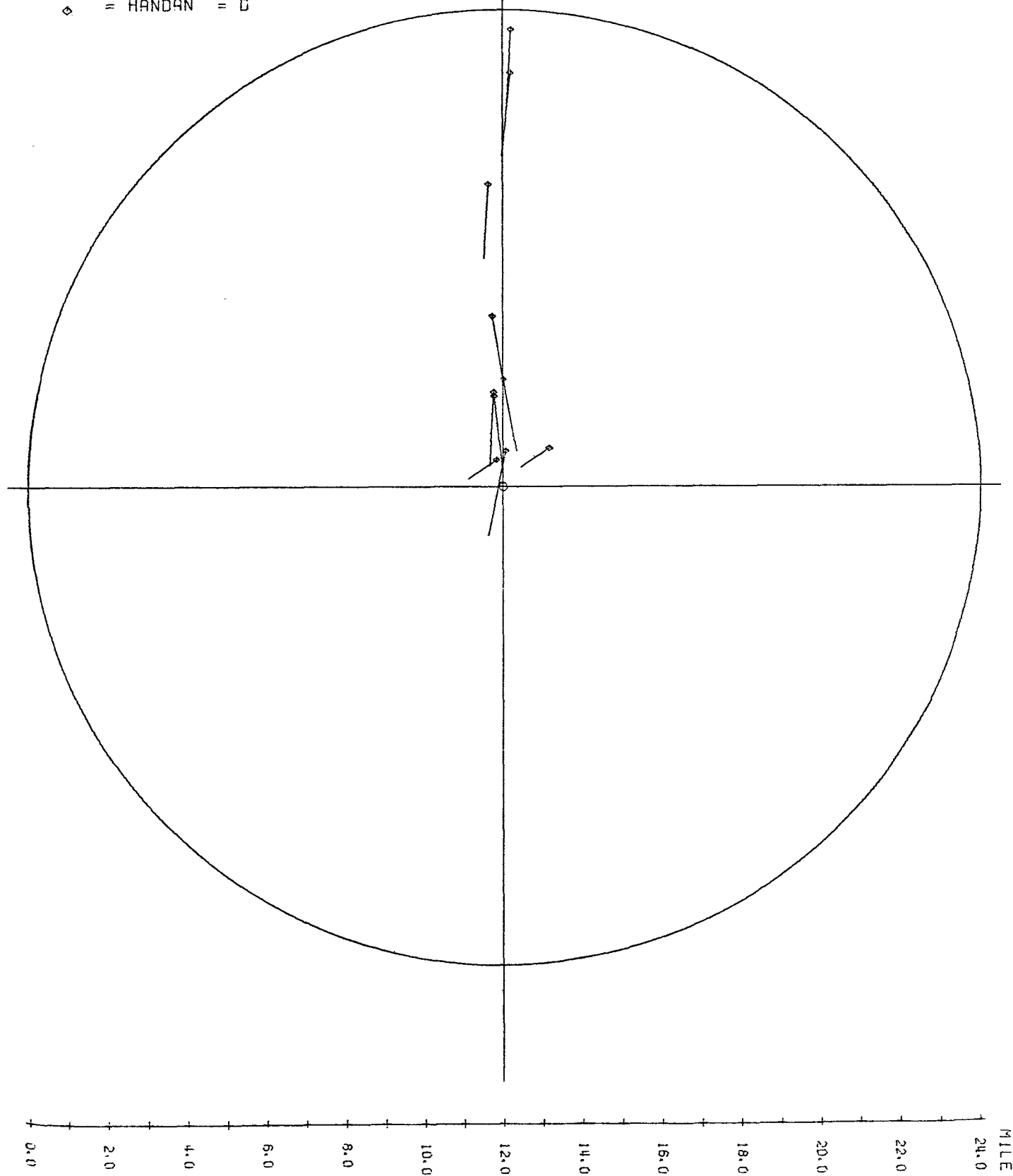
レベル 3

PORT ← SHIP'S HEAD → STARBOARD

SHYOTOTSU HANDAN

TAISHYO SENPAKU

◇ = HANDAN = D



2.2.2 見合い関係の分類基準

1.3.2.(2) で述べた方法により見合い関係の分類基準を調査した結果、調査対象者の分類基準は、つぎに述べるようなものであることがわかった。

自船針路と他船針路のなす角を針路差 δ_0 とする。 δ_0 の符号を時計まわりにはかるときを正、反時計まわりにはかるときを負とすれば、 $0^\circ \leq |\delta_0| \leq 180^\circ$ である。

δ_0 と他船方位の変化する方向とによって、見合い関係の分類基準は、つぎのようにあらわすことができる。

(1) 反航： $|\delta_0| \leq 10^\circ$ であるものおよび
 $10^\circ < |\delta_0| \leq 30^\circ$ であり、かつ他船方位の変化方向が自船の船尾側へ向うもの

(2) 横切： $10^\circ < |\delta_0| \leq 30^\circ$ であり、かつ他船方位の変化方向が自船の船首側へ向くもの
 および

$30^\circ < |\delta_0| \leq 135^\circ$ であるもの
(3) 同航 : $135^\circ < |\delta_0| \leq 180^\circ$ であるもの

2.2.3. レーダ写真の解析結果

(1) 他船の相対位置分布

1.3.2.(3) で述べた方法により、レーダ写真から得られたデータを用いて、調査期間中に供試船が出会った船舶について、自船を中心とする半径12マイルの水域にそれらがどのように分布していたかを解析した。

図2-(7)は、その結果を自船を中心とする半径12マイルの円を0.5マイル単位の格子図にして、単位格子に存在した他船の映像の個数として示したものである。この海域を航行する場合に、他船が自船の周囲のどのような位置に存在するかについて、一つの傾向を示しているとみることができる。

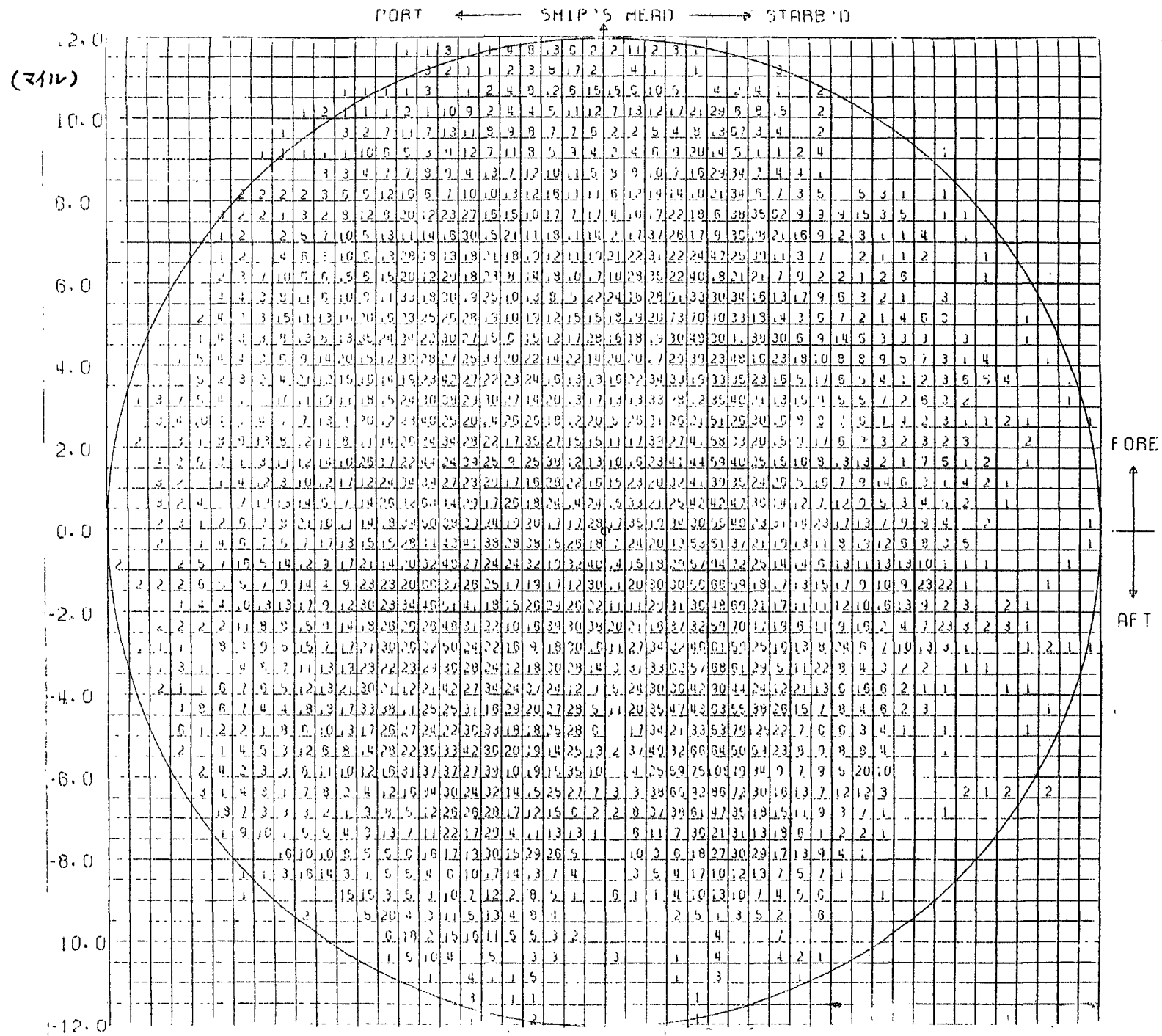


図 2-1(7) 自船まわりの他船の分布

(2) 他船の真運動分布

同様にレーダ写真から得られた7600余の4分間ベクトルから、他船の真運動を計算した結果を用いて、他船の速力と自船との針路差について相対度数分布を求めたのが、それぞれ図2-(8)、図2-(9)である。

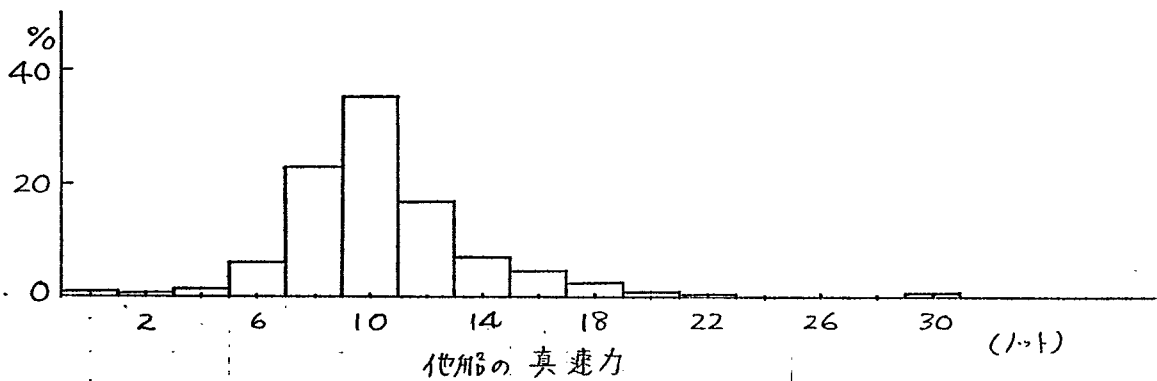


図 2-(8)

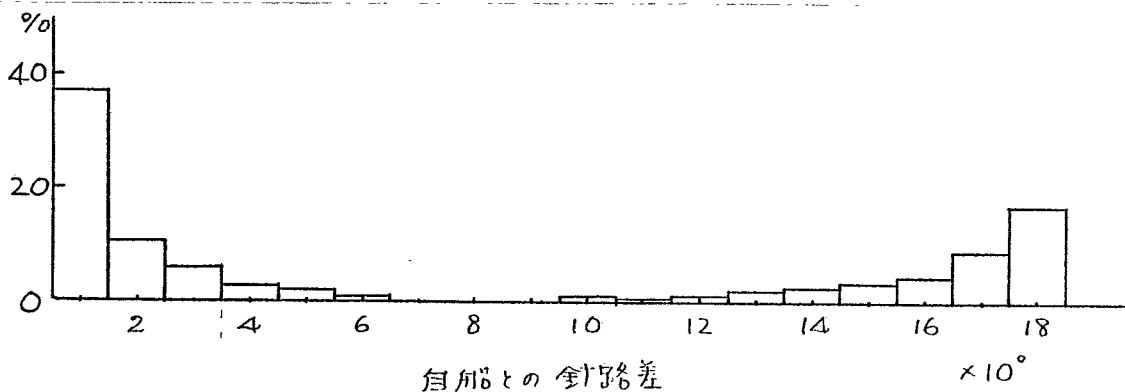


図 2-(9)

4分間という短時間のベクトルから計算したものであり、またレーダの性能

や輝点の読取誤差等の問題があり、精度の点ではまったく信頼できるものとはいいがたいが、沿岸航路を航行する船舶の実態について、(1)とともに傾向を示していると考えられる。

また、このように計算された他船の真運動を 2.2.2 で述べた基準にしたがって見合い関係で分類すると、全ベクトル数 7615 は、反航船 3558, 横切船 1383, 同航船 2674 にわけられた。これらにより供試船の周囲、半径 12 マイルの水域に出現した反航船, 横切船, 同航船の比率は、それぞれ $3558/7615 = 0.467$, $1383/7615 = 0.182$, $2674/7615 = 0.351$ とみることができると。

2.2.4 判断の対象となるべき 他船の抽出

前述したとおり衝突の危険の判断については、「方位の変化がない」、「距離が接近している」という2つの判断が両立した場合に、その船が衝突の

危険の判断対象となると考えられる。

そこで 3名の航海士が、どの程度の方位変化率を「変化がない」と判断したか、またどの程度の距離変化率を「接近している」と判断したかについて検討してみる。

(1) 方位変化の判断

見張り作業記録では、方位変化について「方位が右に変化している」、「方位がかわらない」、「方位が左に変化している」の3種類の判断、また変化のしかたについて「方位のかわりがたが速い」、「方位のかわりがたが遅い」の2種類の判断が記録されている。これらの判断記録と判断の対象となった他船のレーダ写真を対応させることにより、それぞれの判断と対応する方位変化率 $\dot{\theta}_j$ (度/分) について、相対度数分布を求めた。この結果を図 2-(10), 2-(11)に示す。

図 2-(10)-a, b, c は、それぞれ「方位が右へかわる」、「左へかわる」、「かわら

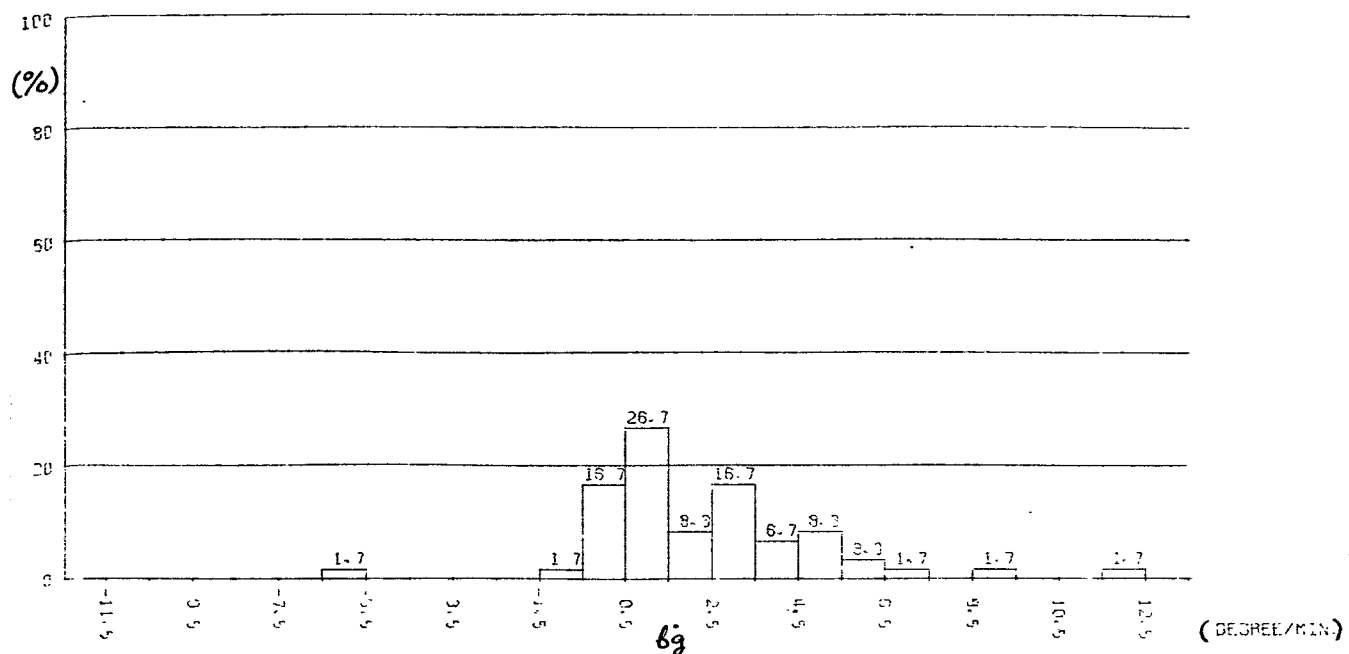


図 2-(10)-a "方位が右へがわる"

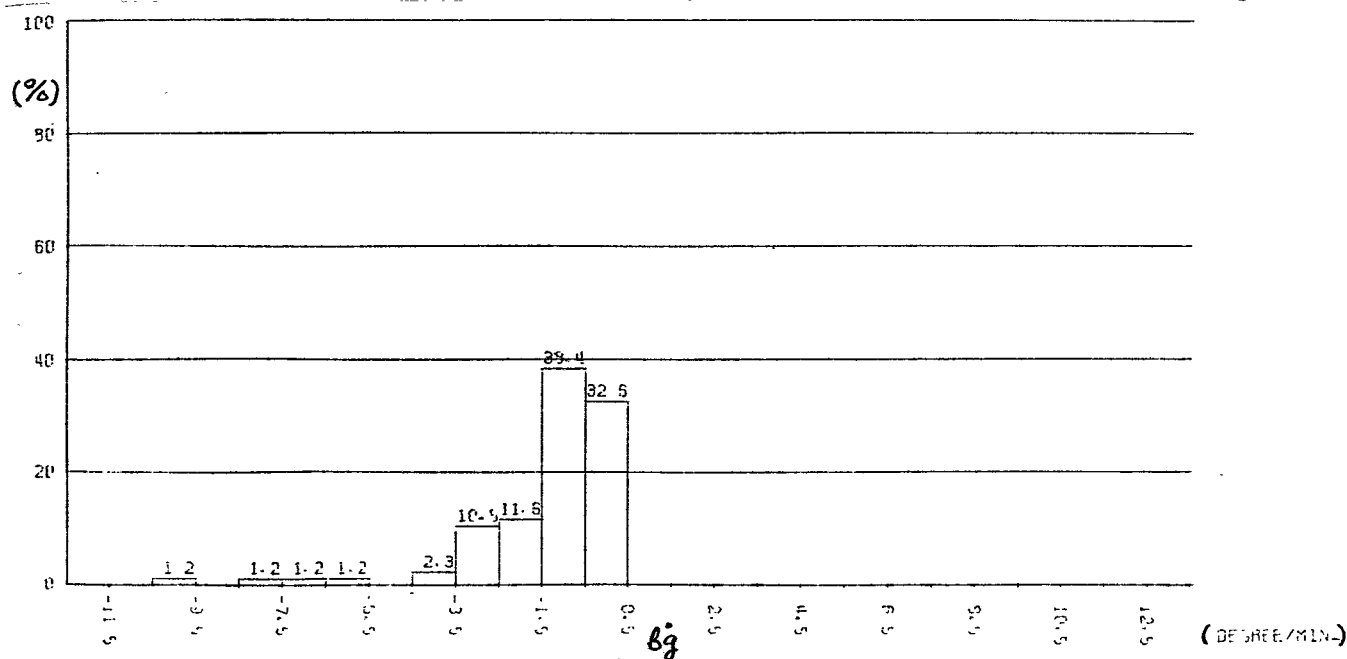


図 2-(10)-b "方位が左へがわる"

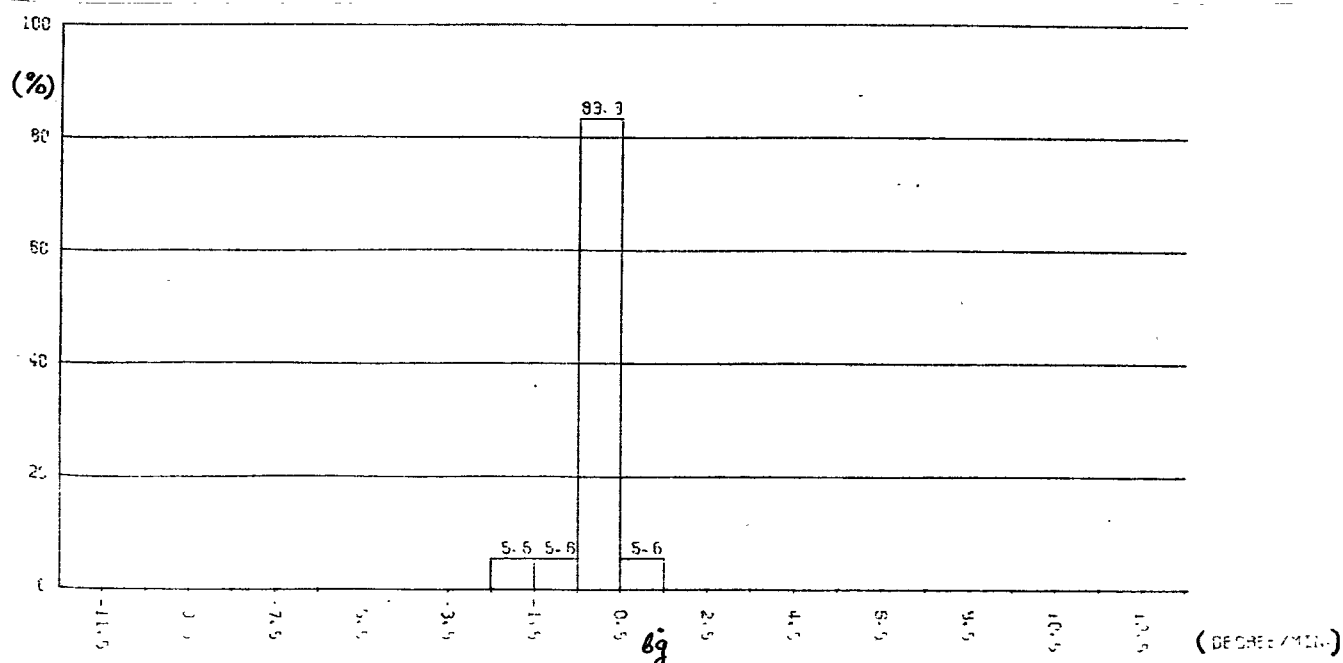


図 2-(10)-c "方位がかわらない"

ない」とする判断についての分布である。図 2-(11)-a, b は「方位のかわりがたが速い」, 「方位のかわりがたが遅い」とする判断の場合を示している。

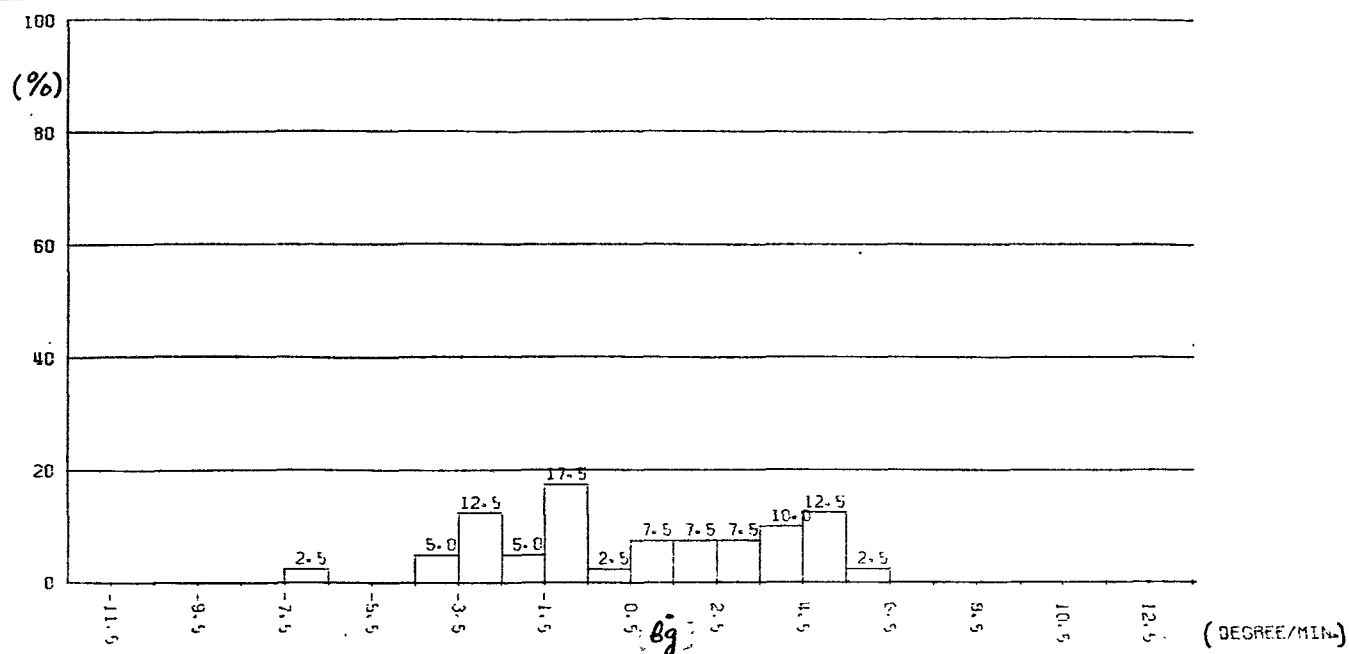


図 2-(11)-a “方位のかわりがたが速い”

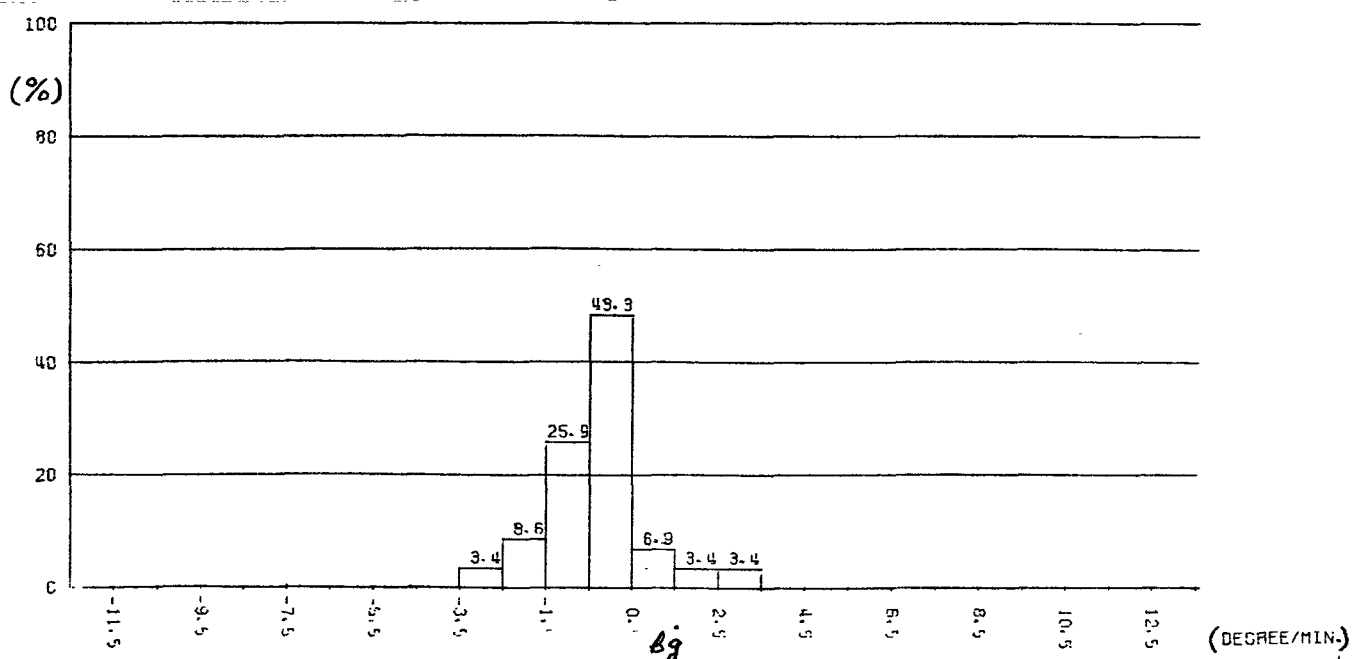


図 2-(11)-b “方位のかわりがたが遅い”

各図とも横軸に方位変化率(度/分)を、縦軸に相対度数(%)をとり、正・負の符号は、方位の変化方向が右舷方向である場合と正、左舷方向と負としてある。

図2-(10)-a, bでは、右、左への方位変化判断の限界値がともに反対舷側へ0.5~1.5(度/分)の範囲ではみ出しているが、図2-(10)-cの「方位の変化なし」とする判断は、 $|\dot{\theta}_g| \leq 0.5$ に判断の80%以上が集中している。また図2-(11)-aでは「方位のかわりがたが速い」とするのは、 $|\dot{\theta}_g| \leq 0.5$ はわずかに2.5%、図2-(11)-bの「方位のかわりがたが遅い」とするのは、 $|\dot{\theta}_g| \leq 0.5$ にそのピークがある。

これらの結果から「方位変化なし」とする判断は、 $|\dot{\theta}_g| \leq 0.5$ にある場合になされると考えられる。

(2) 距離変化の判断

「他船が接近している」という判断について、同様の方法により解析した結果を図2-(10)-dに示す。

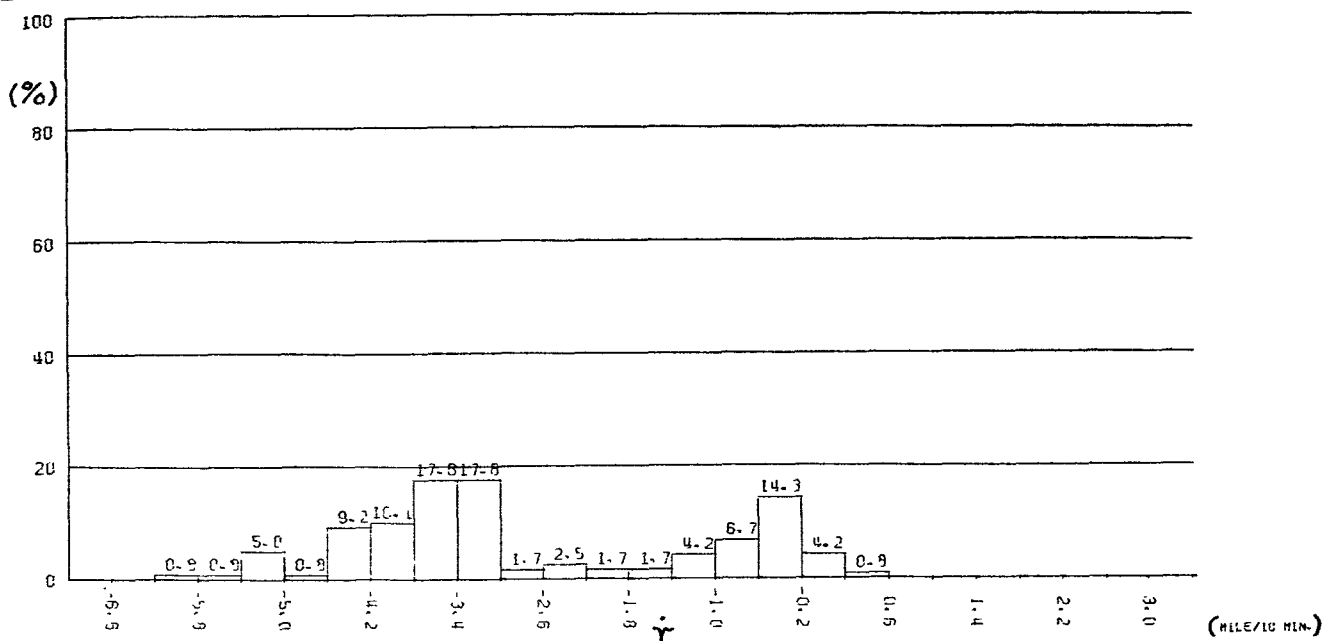


図 2-(10)-d “他船が接近している”

図は、横軸に他船の距離変化率 \dot{r} (マイル/10分) (符号は正が離遠, 負が接近を意味する。), 縦軸に相対度数 (%) をとった。同図によれば、「接近」判断のうち $\dot{r} > 0$ のしめる割合は、わずか 4% 程度であり、距離変化の判断は、比較的正確に実行されているといえる。

(3) 抽出条件

2.2.2 および上述の (1). (2) の結果から、衝突の危険を判断すべき他船 (以下、判断対象船という) をレーダ写真から抽出する場合の条件を、つぎのとおり

設定した。

i) 見合い関係を 2.2.2 で定めた基準により分類する。

ii) 反航船，横切船については， $|bg| \leq 0.5$ で，かつ， $\dot{y} < 0$ であるもの。

iii) 同航船については，最接近距離が表 2-(4) に示すレベル 3 に対応する基準距離以下となったもの

同航船の抽出条件を iii) のように定めたのは，図 2-(8) からわかるとおり，供試船の速力が出会い船舶の速力分布の中央付近にあるため，同航船との速力差が小さくなり， bg による抽出が困難となるためである。

(4) 判断対象船の軌跡

(3) の条件にしたがって，出会い船舶のなかから判断対象船として抽出され

たものは、反航船 70 隻、横切船 43 隻、
同航船 13 隻（1・2 回調査合計）である。
それぞれの相対運動軌跡を、図 2-(12)-
a, b, c に示す。

図 2-(12)-a 判断対象船の軌跡 - 反航船

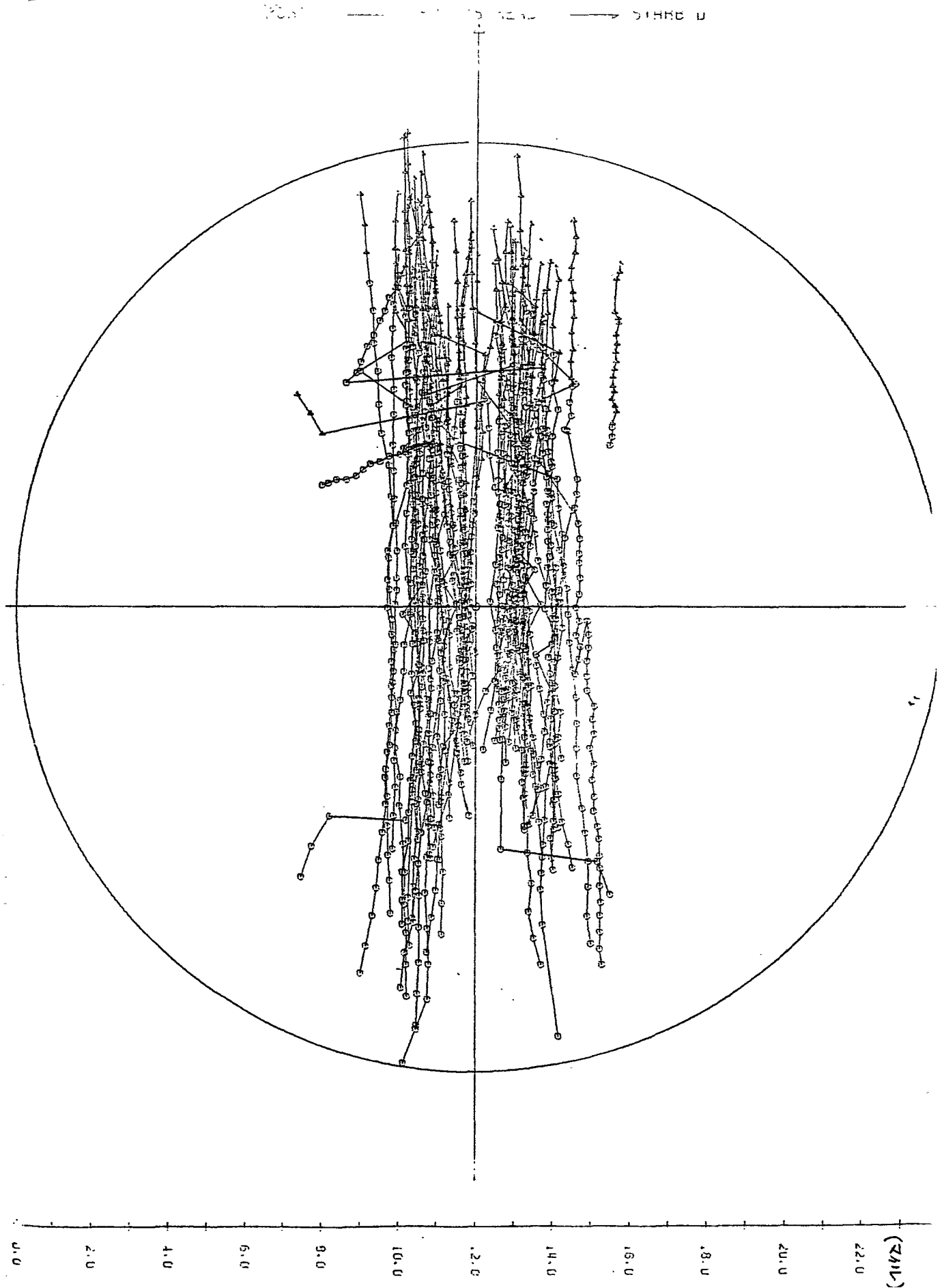


図 2-(12)-6

- 横切船

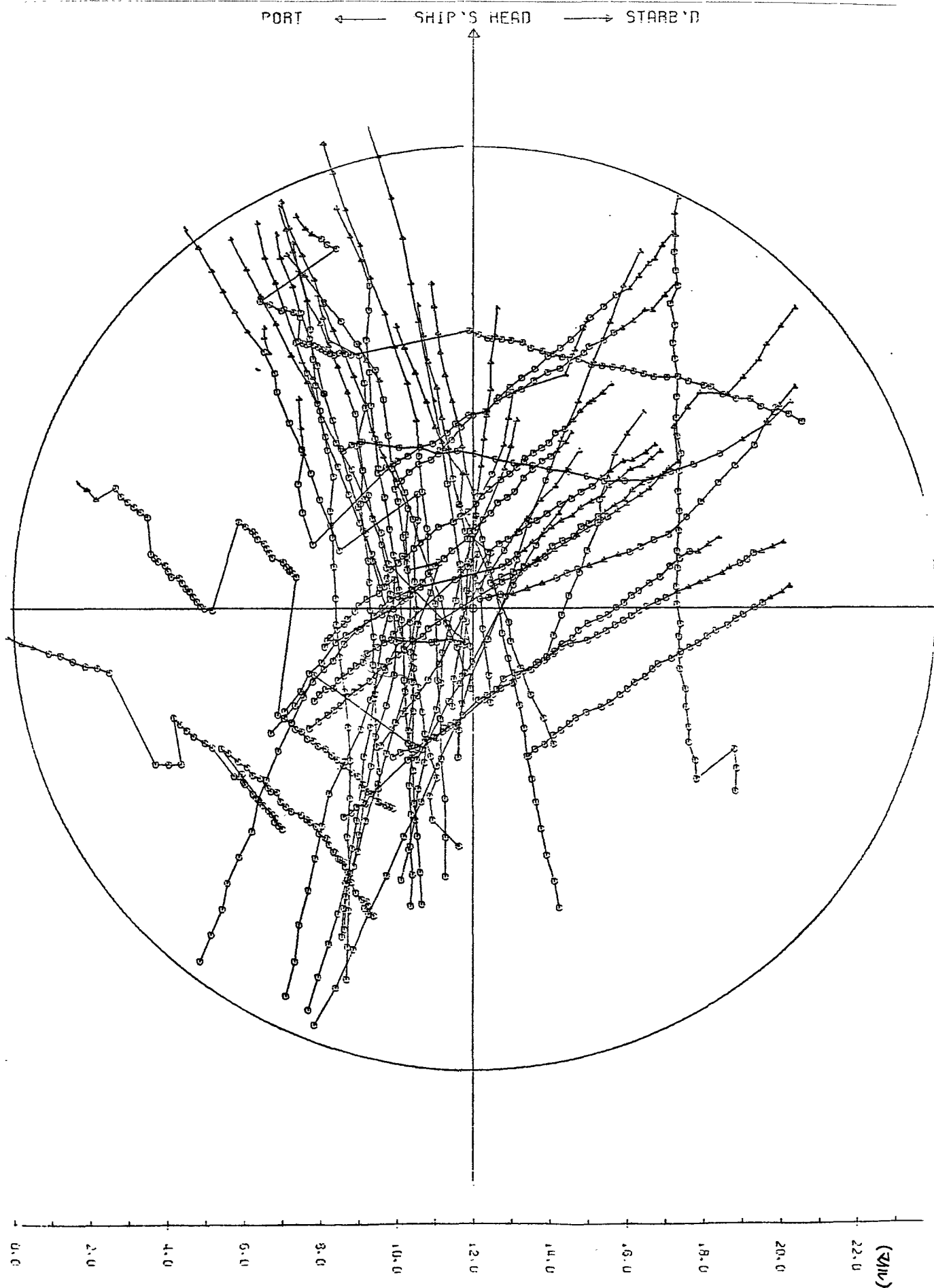
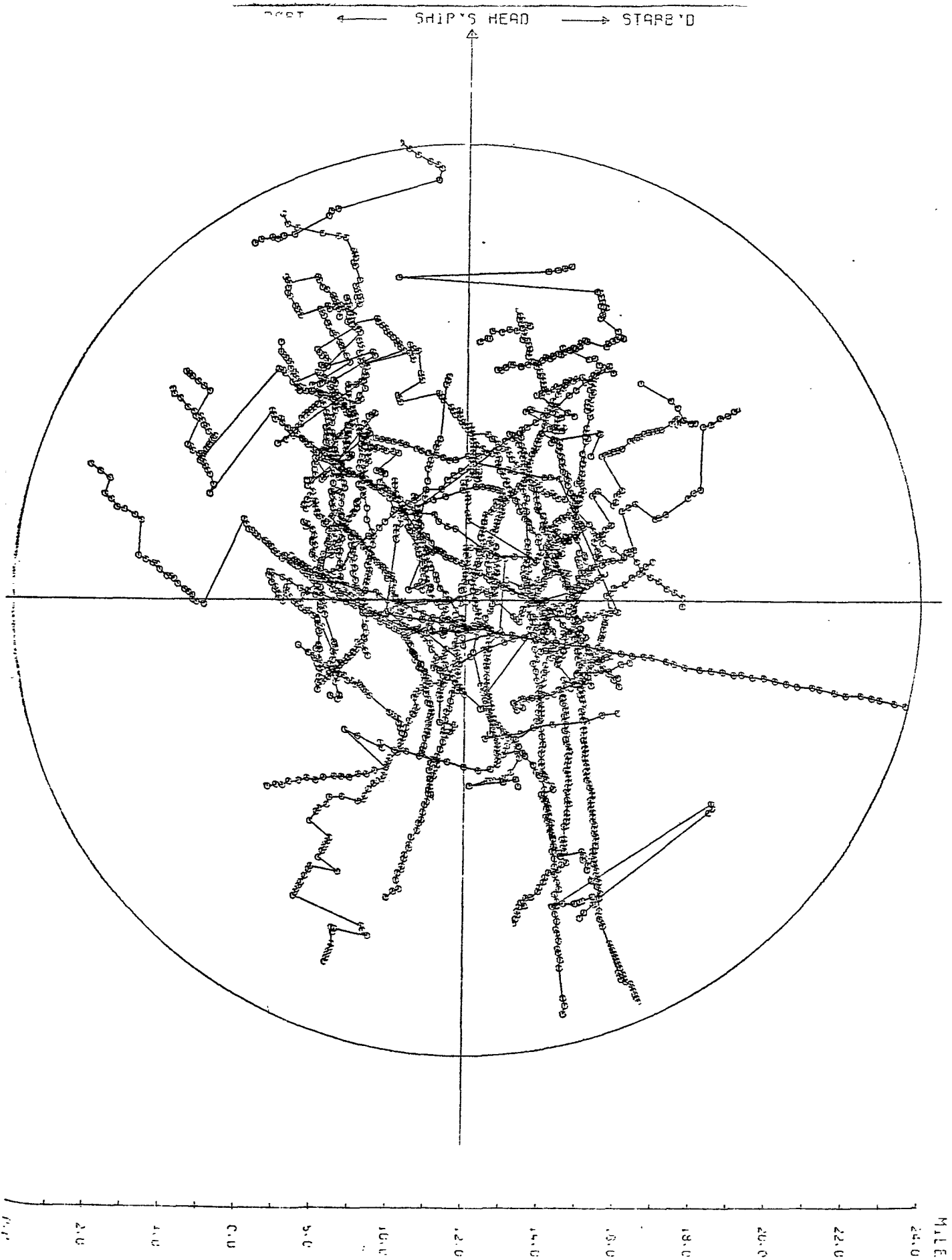


図 2-(12)-c

- 同航船



2.3 見張りの信頼度

2.3.1 故障率

(1) 見合関係別故障率

2.2.1 で得られた危険度判断の記録結果と、2.2.5 で得られた判断対象船の軌跡を用い、2.1.3 による判断基準に基いて、判断された危険度と他船の距離が対応していない場合を定義にしたがって見張りの故障と判定し、故障回数を計数した。この結果を表2-(5)に示す。

表 2-(5) 故障回数

	基準 レベル	Ⅰ			Ⅱ			Ⅲ		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
反 航	①	39	5	1	25	1	0	3	0	0
	②	14	4	0	7	1	0	1	0	0
	① + ②	53	9	1	32	2	0	4	0	0
横 切	①	2	2	0	2	2	0	2	0	0
	②	19	7	3	13	4	0	4	2	0
	① + ②	21	9	3	15	6	0	6	2	0
同 航	①	9	11	6	8	9	4	5	1	2
	②	7	4	3	6	2	2	5	2	2
	① + ②	16	15	9	14	11	6	10	3	4

① : 才1回調査 ② : 才2回調査

表 2-(5) から、見合、関係別の故障率を λ_u とし、故障回数を n (回)、観測期間中の出合い船舶数を S (隻)、航走距離を d (マイル) として、 λ_u を次式であらわすこととする。

$$\lambda_u = n / S \cdot d \quad (\text{回/隻・マイル}) \quad \text{--- (2.14)}$$

$$\text{ここで} \quad S = S_1 + S_2$$

$$d = d_1 + d_2$$

$$n = n_1 + n_2$$

であり、 S, d, n のサフィックス 1, 2 はそれぞれ第 1 回調査、第 2 回調査を意味する。 S_1, S_2 については、1.3.2.(3) から、 d_1, d_2 については 1.3.2.(1) から、それぞれ下記の示す値となる。

$$S_1 = 416$$

$$S_2 = 361$$

$$d_1 = 200$$

$$d_2 = 295$$

また n については、各見合、関係・基準別に表 2-(5) から与えられる。

(2.14) 式に反航、横切、同航の各見合、関係別のサフィックス、 e, c, s をつけて

それぞれの λ_u を

$$\lambda_{ue} = n_e / S \cdot d$$

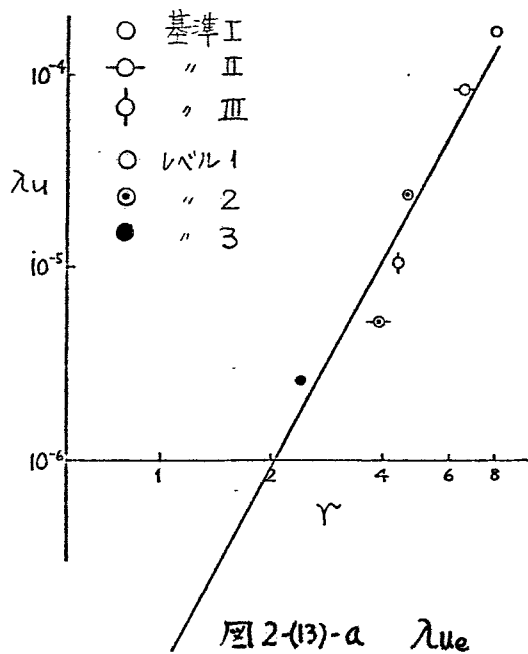
$$\lambda_{uc} = n_c / S \cdot d$$

$$\lambda_{us} = n_s / S \cdot d$$

として、基準Ⅰ、基準Ⅱ、基準Ⅲのそれぞれについて λ_u を計算した結果を表 2-(6) に示す。表 2-(6) には各見合い関係・レベルによる基準距離 r を付記した。

表 2-(6) 見合い関係・基準別 故障率

基準 レベル	Ⅰ			Ⅱ			Ⅲ			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
反航	r	8.1	4.7	2.4	6.6	3.9	2.0	4.4	2.5	1.2
	λ_{ue}	1.39×10^{-4}	2.36×10^{-5}	2.59×10^{-6}	8.38×10^{-5}	5.19×10^{-6}	0	1.05×10^{-5}	0	0
横切	r	7.0	4.2	2.4	5.6	3.5	2.0	3.7	2.2	1.2
	λ_{uc}	5.50×10^{-5}	2.36×10^{-5}	7.19×10^{-6}	3.93×10^{-5}	1.57×10^{-5}	0	1.57×10^{-5}	5.19×10^{-6}	0
同航	r	4.1	2.2	1.3	2.9	1.7	0.9	1.8	0.9	0.5
	λ_{us}	4.16×10^{-5}	3.90×10^{-5}	2.34×10^{-5}	3.64×10^{-5}	2.86×10^{-5}	1.56×10^{-5}	2.60×10^{-5}	7.85×10^{-6}	1.04×10^{-5}



λ_{ue} , λ_{uc} , λ_{us} について
横軸に距離 r (マイル),
縦軸に λ_u (回/隻・マイル) をと
り両対数グラフにプロ
ットしたものが
図2-(13)で, a, b, c がそ
れぞれ λ_{ue} , λ_{uc} , λ_{us} で
ある。

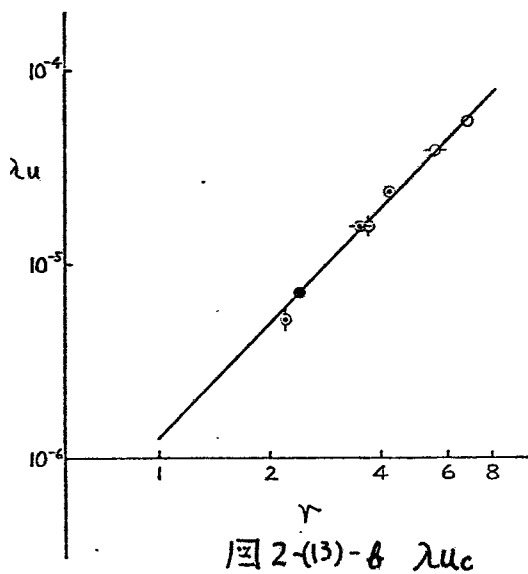
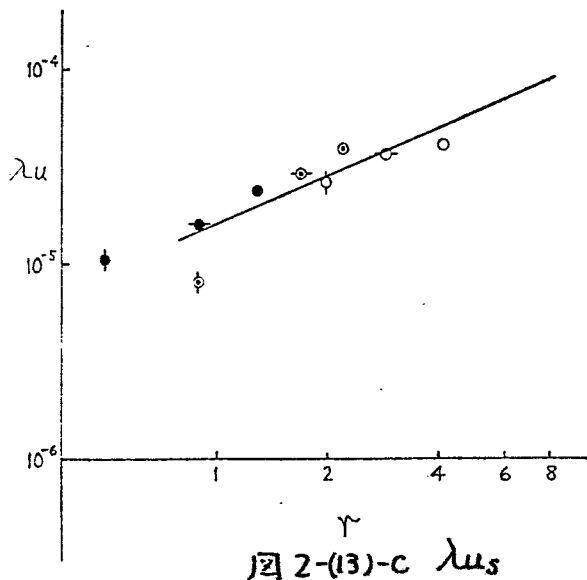


図2-(13)から, λ_{ue} , λ_{us}
についてはややばう
つきがあるが, いず
れも (2.15) 式で示すよ
うな一次対数関数で
近似できると考えら
れる。



$$\log_{10} \lambda_u = a \cdot \log_{10} r + b \quad \text{--- (2.15)}$$

(a, b は定数)

$\lambda_{ue}, \lambda_{uc}, \lambda_{us}$ について.

それぞれ (2.15) 式を用いて最小二乗法により係数 a, b の値を求めた結果を表 2-(7) に示す。

表2-(7) 回帰直線の係数

	a	b
反航	3.554	-7.113
横切	1.983	-5.903
同航	0.817	-4.801

またこれにより得た回帰直線を図 2-(13) に示してある。図 2-(13) からわかるとおり、実船でのデータは $0.9 < \gamma < 8.1$ の間に集まっていることから、(2.15) 式は、 $0.9 < \gamma < 8.1$ において成り立つと考えられる。

(2) 見合い関係と考慮しない故障率

(1) では見合い関係別の故障率が明らかになった。そこでこれらの結果から、見合い関係を考慮しない故障率を考える。

見合い関係を考慮しない故障率を $\lambda_{\bar{u}}$ とすると、 $\lambda_{\bar{u}}$ は、

$$\lambda_{\bar{u}} = C_1 \lambda_{ue} + C_2 \lambda_{uc} + C_3 \lambda_{us} \quad \text{--- (2.16)}$$

とあらわすことができると考えられる。

(2.16)式における C_1, C_2, C_3 は $\lambda_{\bar{u}}$ に対する $\lambda_{ue}, \lambda_{uc}, \lambda_{us}$ の寄与率ともいうべき重み係数である。

C_1, C_2, C_3 は見張りの対象となる全船舶に対する反航船, 横切船, 同航船の占める割合であらわすことができると考え, それぞれを 2.2.3.(2) で得た供試船の周囲, 半径 12 マイルの水域に出現した全船舶に対する反航船, 横切船, 同航船の比で与えた。すなわち,

$$C_1 = 0.467$$

$$C_2 = 0.182$$

$$C_3 = 0.351$$

これらの値を (2.16) 式に代入し, 見合い関係と考慮しない故障率 $\lambda_{\bar{u}}$ を次式であらわすこととする。

$$\lambda_{\bar{u}}(r) = 0.467 \lambda_{ue}(r) + 0.182 \lambda_{uc}(r) + 0.351 \lambda_{us}(r)$$

— (2.17)

(3) 衝突発生率

1.2.2 で述べたとおり, 衝突をきわめて近い距離にある他船に対する見張

りの故障とする仮定のもとに解析をすすめる。

(2.17) 式による $\lambda \bar{u}(Y)$ は、(2.15) 式の適用範囲から考えて、 $1.0 \leq Y \leq 8.0$ において成り立つとする。そこで $\lambda \bar{u}(Y)$ について $Y < 1.0$ の部分を推定するために上述の仮定を用いる。

きわめて近い距離を Y_0 、 Y_0 における故障率を $\lambda \bar{u}(Y_0)$ とすれば、上述の仮定から

$$\lambda \bar{u}(Y_0) = R \quad \text{--- (2.18)}$$

とすることができ、ただし R は海域の衝突発生率 (回/マイル・隻) で、次式であらわすこととする。

$$R = n_R / N \cdot D \quad \text{--- (2.19)}$$

ただし n_R は海域の衝突回数、 N は海域の通航量、 D は海域の長さである。

いま、海域を実船データに合わせて図 1-(6) に示すように紀伊日、御崎北方よ

り剣埼沖間の常用沿岸航路を中心に両側12マイルの範囲にとる。

N_R については、昭和51、52、53年の3年間に於けるこの海域内で発生した衝突を、海上保安庁による海難調査票⁽⁹⁾から集計して、 $N_R = 261$ (回/3年間)を得た。

N については、こうした海域の通航量という形のデータが得られないので、海上保安庁による通航量調査⁽¹⁰⁾を参考に

$$N_1 = 400 \text{ 隻/日}$$

表2-(8) 通航量

$$N_2 = 1000 \text{ 隻/日}$$

の場合を考
えることとする。

なお上述の通航量調査の抜すいを表2-(8)に示した。

また海域の長さDは300マイルとした。

			年度			
			50	51	52	53
津 賀 水 道	ル-1 A+B+C	総隻数	815	721	763	866
		一般船舶	750	618	640	758
剣 埼 沖	ル-1 A+B+C	総隻数	594	—	—	—
		一般船舶	521	—	—	—
下 田 沖	ル-1 A+B+C	総隻数	402	—	—	—
		一般船舶	261	—	—	—
伊 良 湖	ル-1 A+B+C	総隻数	896	1037	1289	2975
		一般船舶	215	195	280	790
潮 岬 沖	ル-1 A+B+C	総隻数	507	—	—	—
		一般船舶	371	—	—	—
友 ヶ 島	ル-1 A+B+C+D+E	総隻数	516	583	792	435
		一般船舶	376	346	357	277
臼 御 埼	ル-1 A+B+C+D+E	総隻数	—	439	465	—
		一般船舶	—	369	393	—

(ル-1 A~E は、発見型にあたって保安庁が設定した通航路の区分であり、一般船舶とは、総隻数から漁船等を差引いたものである。)

(2.19)式 と これらの値 から

$$R_1 = \pi_R / N_1 \cdot D = 1.986 \times 10^{-6} \quad (\text{回/マイル} \cdot \text{隻})$$

$$R_2 = \pi_R / N_2 \cdot D = 7.945 \times 10^{-7} \quad (\quad)$$

が得られる。

そこで (2.18) 式 における γ_0 を 供試船
の全長 $100.8^m \div 0.05 \text{ マイル}$ から $\gamma_0 = 0.05 \text{ マイル}$
として。

$$\lambda \bar{u}_1(0.05) = R_1$$

$$\lambda \bar{u}_2(0.05) = R_2$$

と仮定した。

図 2-(14)-a 見合関係を考慮しない故障率

$1.0 \leq \gamma \leq 8.0$ に

おける $\lambda \bar{u}(\gamma)$ を

(2.17)式 によっ

て与え、 $\lambda \bar{u}(0.05)$

との平滑曲線を

を求めたのが

図 2-(14)-a に示

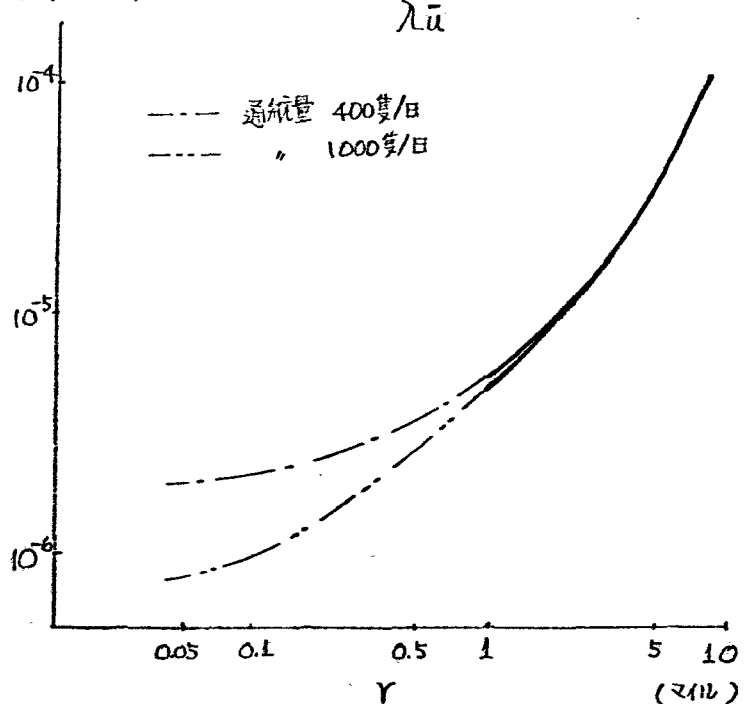
した見合関係

を考慮しな

い故障率であ

る。この図に

$\lambda \bar{u}$
(回/マイル・隻)



おいて 1 点鎖線は $\lambda \bar{u}_1$ を用いた場合、2

点鎖線は $\lambda \bar{u}_2$ を用いた場合であり。

太線は $1.0 \leq r \leq 8.0$ の部分で、実船データにもとづいていることを意味し、 $r < 1.0$ は仮定にもとづく推定部分である。

(4) 単位航走距離あたりの故障率

こうして得られた $\lambda \bar{u}(r)$ から、単位航走距離あたりの故障率 $\lambda(r)$ は、

$$\lambda(r) = \lambda \bar{u}(r) \times S_v \quad (\text{回/マイル}) \quad (2.20)$$

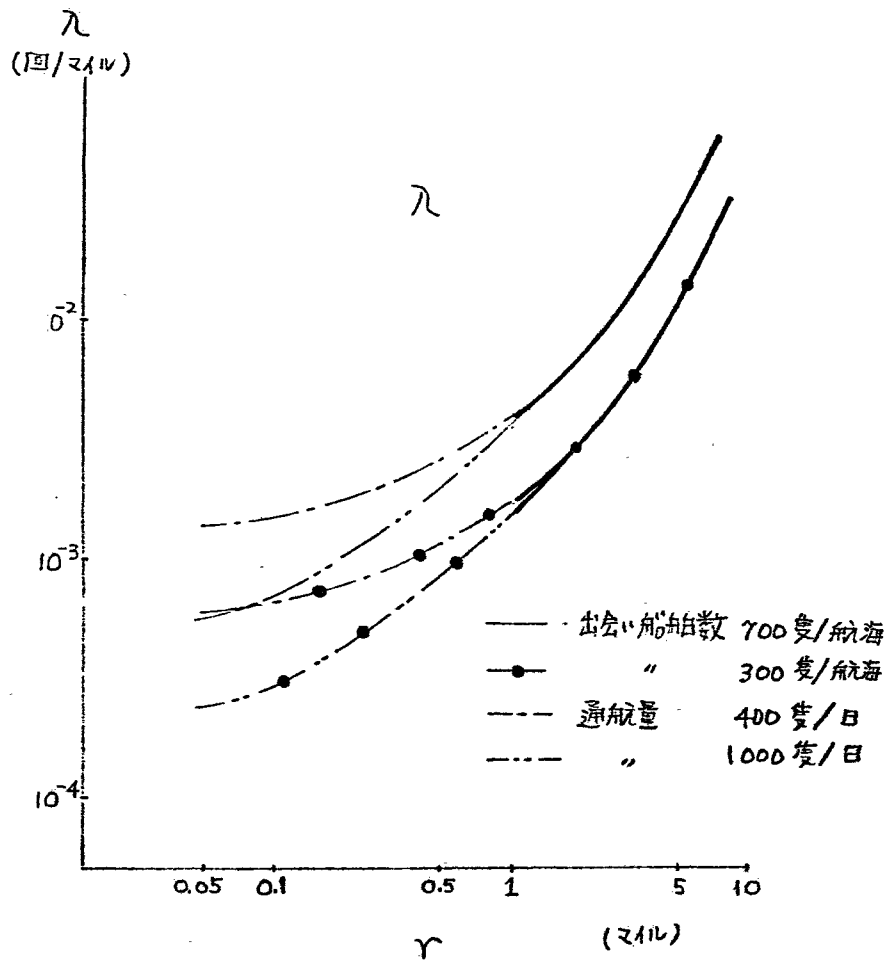
ただし S_v は一航海あたりの出会う船舶隻数

とあらわすことができる。

S_v について、 $S_{v1} = 300 \text{ 隻/1航海}$ および、 $S_{v2} = 700 \text{ 隻/1航海}$ の場合を考え、(2.20)式を用いて $\lambda(r)$ を計算した結果を図2-(14)-4に示した。

図中の1点鎖線は、 $\lambda \bar{u}_1(0.05)$ と、2点鎖線は $\lambda \bar{u}_2(0.05)$ を用いた場合であり、曲線に黒丸を付したものは S_{v2} を用いた場合もそれぞれ意味している。

図 2-(14)-b 単位距離あたりの故障率



2.3.2 信 頼 度

信頼度に関する一般公式は次式で示される。(11)

故障確率密度関数を $f(t)$ とすれば

$$\text{不信頼度関数 } F(t) = \int_0^t f(t) dt$$

$$\text{信頼度関数 } R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt$$

これから

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = - \frac{dR(t)}{dt}$$

$$\text{故障率 } \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{-dR(t)/dt}{R(t)}$$

$$\text{または } \lambda(t) = - \frac{d \ln R(t)}{dt}$$

したがって

$$R(t) = \exp \left(- \int_0^t \lambda(t) dt \right) \quad (2.21)$$

となり、一般に故障率 $\lambda(t)$ が変数である場合、その信頼度関数 $R(t)$ は、(2.21) 式で示されることが知られている。

そこで (2.20) 式を (2.21) 式に用いて、信頼度関数 $R(r)$ は、

$$R(r) = \exp \left(- \int_0^r \lambda(r) dr \right) \quad (2.22)$$

と示すことができる。

2.3.1 (5) で求めた $\lambda(r)$ について (2.22) 式から $R(r)$ を計算した結果が図 2-(15) に示す信頼度である。なお、 $\lambda(r)$ の積分は、シン普森公式を用いた数値積分によ

た。

図 2-(15) 信頼度

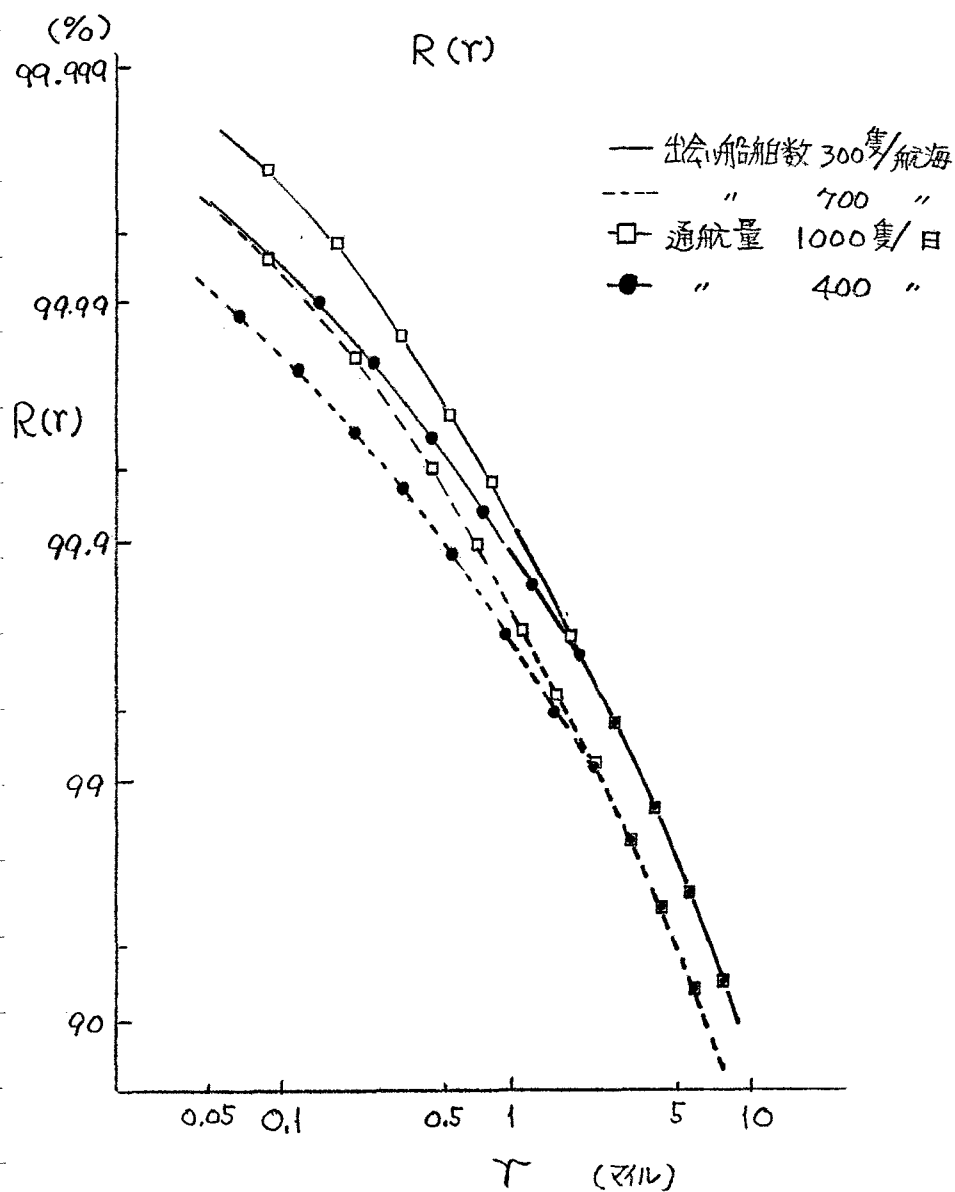


図 2-(15) は、図 2-(14)-a, b と同様に海域の通航量を 400 隻/日, 1000 隻/日, 1 航海あたりの出会う船舶数を 300 隻, 700 隻の場合について、それぞれ $R(r)$ を計算して示した。同様に、同図においても

$1.0 \leq r \leq 8.0$ の部分は実船データによるもの、 $r < 1.0$ の部分は推定値である。

3. 考 察

3.1 判断基準の考察

3.1.1 危険レベルの意義

これまでの解析において衝突の危険度を、レベル1：衝突のおそれを生ずる可能性がある レベル2：衝突のおそれがある レベル3：衝突の危険がある という3レベルにわけ、判断基準を設定したが、こうしたレベルや基準がどのような意義をもっているかについて考察を加えてみることにする。

衝突の危険度については、上述の3レベルだけでなく、たとえば衝突のおそれは判断できない とする いわばレベル0の状態や衝突が避けられないがもしれない ある いは避けられそうにもない というレベル4の状態を考慮す

る必要があるとおもわれる。

この点について、レベル0、レベル4を除外して3レベルの分類で解析をすすめてきた理由は、一つにはレベル4というような状態は、実船では十分なデータを得ることについて期待ができないこと、またレベル0については、操船者の意識を数量で表現するのが困難であることなどが予想されたためであり、他方、レベル1~3のそれぞれが見張りにおいて操船者が実行する具体的な応答策と密接な関連をもっていると考えられたからである。

レベルの分類と危険度の表現にあたっては、海上衝突予防法の航法規定⁽¹²⁾が、同法の適用される要件として“衝突するおそれがある場合”をあげていることが一つの目安となった。

すなわち、上述のレベル2の判断が実行される段階と避航が開始される段階とは、時機的に接近しているであろうという推定をたてた。

レベル2からレベル1、レベル3について考えを発展させると、つぎのような推論が考えられた。

レベル1では、操船者は視野内にあ
る多数の船舶のなかから警戒を要する
船舶を選択し、その結果、これらのな
かから、なおも衝突の危険が継続してい
る他船に対しレベル2と判断し、さらに、
応答策として避航操船を実行する。レ
ベル3は、レベル2にいたるまでの見
張りにおいて、何らかの失敗や時間的
遅れが生じた結果、通常の状態以上に
他船と接近してしまう、いわば異常接
近という状態が生じ、これを回避す
るための応答策は、通常の避航操船⁽¹³⁾に
比較して大胆な操船が必要と考えられ
るような状態である。

このような推定から、レベル2と避
航開始距離、レベル3と異常接近距離
とがそれぞれ対応していると考えた。

3.1.2 危険レベルの考察

上述の避航開始距離、異常接近距離
についても1.3.1で述べた調査では、操
船者の意見を集めたので、その結果か
ら危険レベルとこれらの距離について

検討してみよう。

(1) 避航開始距離とレベル2

図3-(1)は、避航開始距離についての回答結果を相対度数分布として示したもので、横軸に避航開始距離(マイル)、縦軸に相対度数(%)をとってある。a, b, cはそれぞれ、反航船、右舷から接近する横切船、同航船に対するものである。

これらから回答の平均値を求めた結果と危険レベル2に対応する基準距離の平均値(すなわち基準工)を比較したのが表3-(1)である。

表3-(1)によれば、反航、横切、同航いずれの場合も避航開始距離がレベル2の基準距離より大となっており、反航船でその差は約1マイル、横切船で0.8マイル、同航船で0.2マイルと、見合ハ関係別に差が小さくなっている。

これらから3.1.1前段の推定——レベル2で避航開始——とするより、むしろ“衝突のおそれがある”との判断

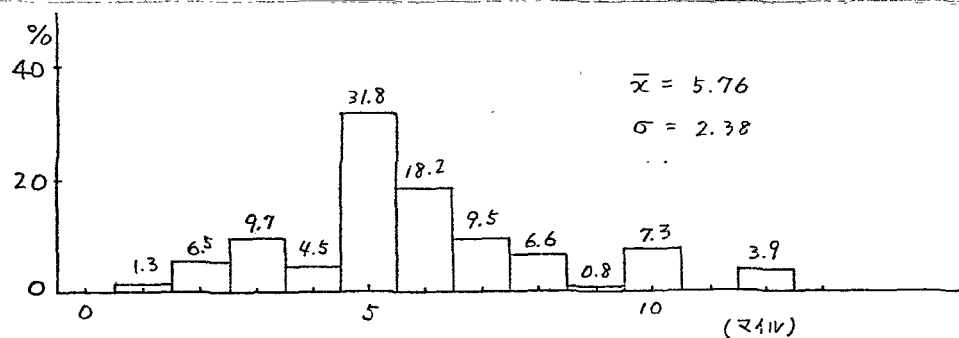


図 3-11-a 避航開始距離 - 反航船

(各図中の \bar{x} ,
 σ は、それぞれ
 平均、標準偏差
 を示している)

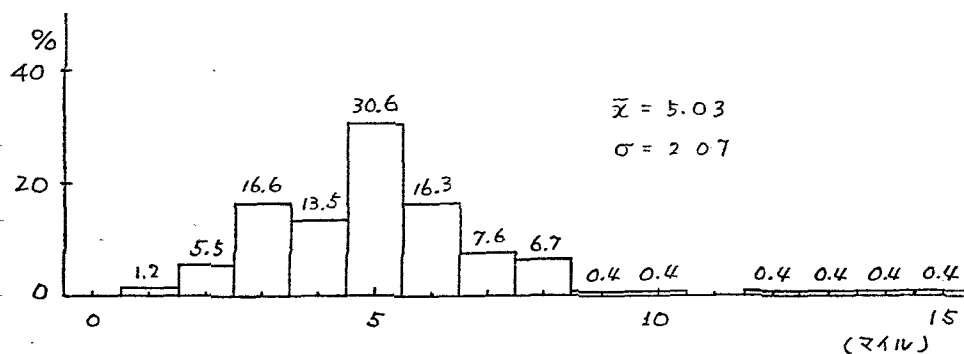


図 3-11-b

- 横切船

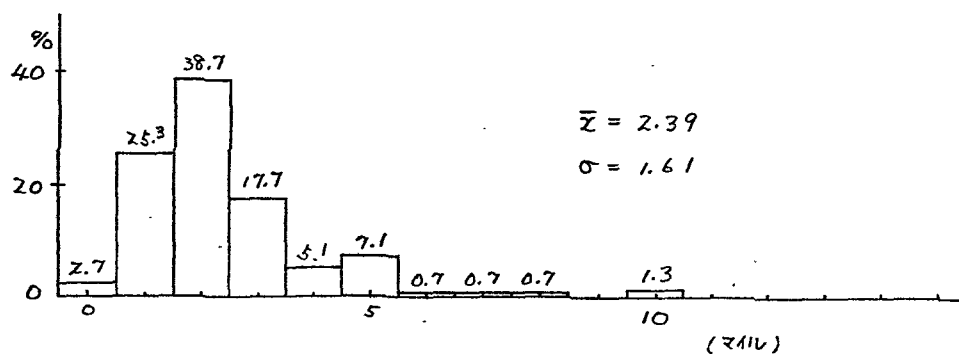


図 3-11-c

- 同航船

	反 航 船	横 切 船	同 航 船	
避航開始距離 平均値	5.8	5.0	2.4	
レベル 2 の基準距離	4.7	4.2	2.2	(マイル)

表 3-11 避航開始距離とレベル 2

がなされる以前に他船を避航しようとする傾向が指摘できる。

(2) 異常接近距離とレベル3

図3-(2)は、異常接近距離についての回答結果を同様に相対度数分布として示したものである。

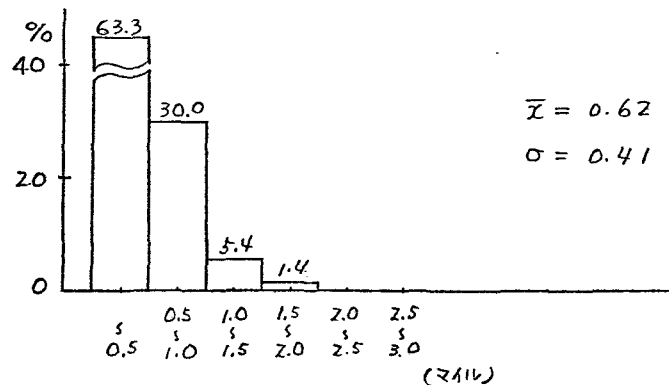


図3-(2)-a 異常接近距離 - 反航船

a, b, c は、それぞれ反航船、右舷から接近する横切船、同航船の場合を示している。

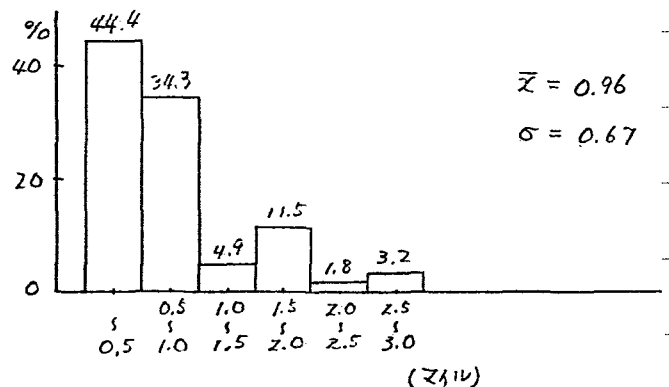


図3-(2)-b - 横切船

これらから回答の平均値を求めた結果と、危険レベル3に対応する基準距離の平均値を比較したのが表3-(2)である。

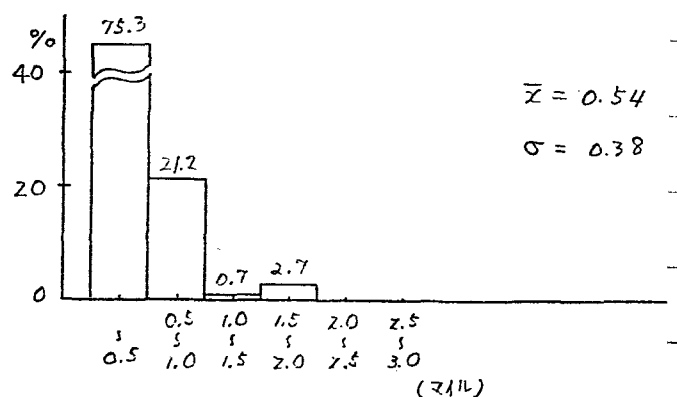


図3-(2)-c - 同航船

	反 航	横 切	同 航	
異常接近距離 平均値	0.6	1.0	0.5	
レベル3の基準距離	2.4	2.4	1.3	(マイル)

表 3-(2) 異常接近距離 とレベル3

表3-(2)によれば、反航、横切、同航いずれの場合も異常接近距離はレベル3の基準距離よりも小さくあり、しかも(1)の避航開始距離の場合に比べその差が大きくなっている。

これらから(1)と同様に“衝突の危険がある”という判断と異常接近という判断には、距離的な差があることが認められる。

3.1.3 識別要素の考察

前章では衝突の危険を識別する要素を、「方位変化」と「距離変化」にしぼり解析してきた。

こうした点についても操船者の意見を聞いたので、これらについて検討してみることとする。

図3-(3)は、操船者が他船を避航する場合に注意を払う対象としてあげた8つの項目について、注意する順位を回答した結果で、aは才1順位にあげたもの、bは才2順位としてあげたものをそれぞれ相対度数分布で示した。

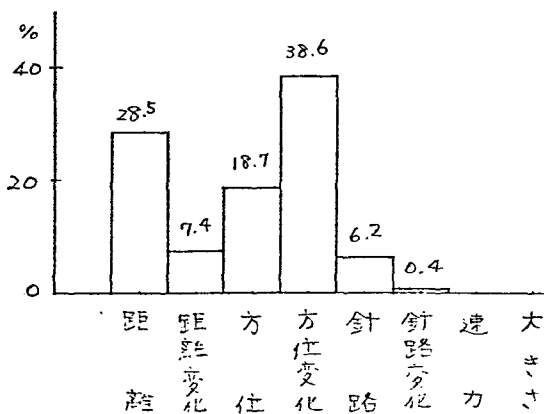


図3-(3)-a 注意対象項目の才1順位

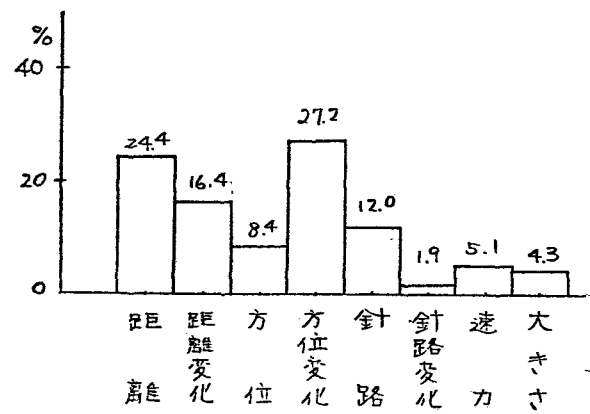


図3-(3)-b

才2順位

これらによると、操船者が他船の避航にあたって、他船の方位変化と距離を重要視していることがよく示されている。これまでの解析で、危険の識別要素もこれら2つに限ったことについては、操船者の意識とも合致したものであると考えられる。

3.2 解析方法と結果について

これまでの解析方法と結果について、問題点もあげると、つぎに述べるようなことが考えられる。

(1) 判断基準を設定する基礎となったデータは、1.3.1で述べたとおり、74名の操船者から得た意見である。調査では質問者と回答者の個人面接という形式を踏んだことにより、質問の内容や意義について回答者の理解が十分得られたうえでの意見と考えている。

しかしながら環境条件に大きく左右される見張りを考えるときに、限定された状況設定から得た意見だけでは、見張りのすべてを論ずるわけにはいかない。今回の調査では、実船との対応についてのみ配慮して意見調査における状況設定にあたったが、回答者のなかには「同一海域を航行していたとしても、大型タンカーの場合と一般貨物船の場合とでは基準が異なる」とした意見もあり、今後はこうした点につい

ても、さらに検討を加える必要がある。

(2) 実船調査から得たデータは、供試船に乗船していた3名の航海士によるものである。調査期間も短かく、得られたデータ数も、見張りに関するさまざまな要素について詳細に解析するに十分であるとはいいがたい。(1)と同様に多数の航海士、各種の船舶、さまざまな環境条件によって実船でのデータを収集し、一般論としての見張りを解析する必要があると考える。

(3) 今回の解析では、他船に対する危険度を一貫して他船との距離で評価してきた。

しかしながら危険の評価を他船との距離であらわす場合でも、他船の種類や大きさにより評価が変化することが考えられる。また見合い関係についても、上述のような二船間の関係だけでなく、実際の運航場面で多々生ずるような特殊な場合——たとえば三船が一点に集まるような関係——については、単に距離のみで危険度が判断されるも

のではないとおもわれる。したがって、こうしたさまざまな場合については、危険度の評価に、心理量などによる重みづけが考慮されるべきであろう。

また、信頼度を解析するにあたっては、時間に対する考慮がなされていない。見張りが許されない時間もあるとみられるので、こうした点についても検討されなければならないと考える。

(4) 上述のとおり、解析にあたって多くの限定条件を設定したために、得られた結果は、限られた条件のもとでのものと考えるなければならない。たとえば信頼度解析で用いた出会い船舶の見合い関係別出現率は、供試船と高速船とでは異なることが予想されるし、出会い船舶数と故障率との関係を直線比例としたことにも疑問が残る。こうした観点からして、見張りの信頼度として図2-(15)に示したものは、あくまで一例と考えるべきであろう。

(5) 本論の冒頭で触れたとおり、見張りも信頼性工学の立場から解析した

例は少なく、他の内容と比較して結果の妥当性を検証することが困難である人間の判断の正しさを信頼度という形で数量化するにあたっては、今後は心理学あるいは人間工学的なアプローチも考慮されるべきであろう。

見張りの信

表3-(3) 人間の動作の信頼度

頼性を検討す

るにはこの

ように多くの

未解決な問題

が残されてあ

り、こうした

点から、本論

は見張りの信

頼性を解析す

るについての

一つの手法を

提示したと考

えている。な

お、参考とし

て表3-(3)に人

間の動作の信

頼度を文献⁽¹⁴⁾が

ら引用して示した。

動 作	信 頼 度	動 作	信 頼 度
円形目盛読取り		9.5~12.7	0.9993
目盛の単位数		12.7~	0.9998
50~100	0.9996	大きさ(ミリメートル)	
200	0.9984	~12.7	0.9995
400	0.9962	12.7~	0.9999
600	0.9952	半円目盛読取り	
目盛直径(ミリメートル)		目盛弧長(度)	
25.4	0.9996	25	0.9937
40.6~40.4	0.9997	50~100	0.9950
69.8	0.9993	200	0.9964
目盛増加		目盛半径(ミリメートル)	
右から左	0.9996	12.7~19.1	0.9996
左から右	0.9999	19.1~25.4	0.9997
目盛形式		25.4~50.8	0.9993
目盛移動	0.9966	目盛増加	
指針移動	0.9970	右から左	0.9996
計数器読取り		左から右	0.9999
長さ(ミリメートル)		目盛形式	
25.4	0.9990	目盛移動	0.9978
25.4~50.8	0.9998	指針移動	0.9981
76.2~	0.9995	ノブ設定	
プッシュ・ボタン設定		大きさ(直径)	
プッシュ・ボタン数(1列)		(ミリメートル)	
2	0.9995	~12.7	0.9995
4	0.9991	12.7~76.2	0.9997
8	0.9965	76.2~	0.9994
プッシュ・ボタン間隔		ロック機構	
(ミリメートル)		あり	0.9999
3.2~6.4	0.9985		
なし	0.9996	2	0.9999
抵抗(グラム)		3	0.9991
軽~適度(~113.0)	0.9995	スイッチ数(1列)	
重(170~453)	0.9998	1~5	0.9998
トグル・スイッチ設定		6~10	0.9996
位置数		11~25	0.9990

4. 結 論

見張りの信頼性に関して、これまでの解析結果から、つぎのような結論を得た。

(1) 操船者が衝突の危険を判断する場合、距離が接近すればするほど判断される危険度が高くなるが、これを見合い関係別にみると、反航—横切—同航という順で危険度を高く判断する。ただし、距離が接近して判断が“衝突の危険がある”という段階に至ると、反航—横切の順は逆転して、横切船に対して、より危険度を高く判断する。

(2) 本論の定義にしたがって見張りの故障を判定する場合、判定基準となる距離と故障回数は比例関係にあり、航走距離・出会い船舶数あたりの故障率 λ_u は、他船の距離 r との間に $\log_{10} \lambda_u = a \log_{10} r + b$ という関係で示すことができる。

(3) 故障率を見合い関係別にみると、同じ距離では同航船に対する故障率が最も高く、ついで横切船、反航船の順となる。

(4) 危険の判断と、そのを答策と考えられる避航操船との関連をみると、“衝突のおそれがある”と判断するまえに避航を開始する傾向がある。

(5) 見張りの信頼度を他船の距離であらわすと、8マイルで約90%、1マイルでは約99.9%となり、距離が接近するにしたがって正確な判断がなされている。

おわりに

見張りは、操船者にとって基本的な技能の一つであるにもかかわらず、これまで、もっぱら操船者が経験を積み重ねることによってのみ、技能の習得がはがられてきた。その理由の一つには、見張りの良し悪しを判断すべき基準といったものが明確にされていないことにあると考えられる。

衝突が起るたびに、その原因が見張りの不十分にあるとされた例は多いが、こうした場合に、どのような見張りであれば十分であったと判断されるのだろうかという疑問をいただく者は、筆者だけとは限らないとおもわれる。こうした疑問に対して、何らかの目安を与えたのと考えたのが本論の出発点であった。

このような意味からすると、当初の目的は達成されたと考えられるが、冒頭にも述べたとおり、見張りの果している役割りはきわめて広く、ここではそのごく一部分に限られた条件のもとで解析したにすぎない。むしろ、さら

に検討すべき問題のほうが多く残されている。今後の課題として研究を続けたいと考えている。

最後に、本論文の作成にあたり、終始御指導いただいた本学 杉崎昭生助教授、鶴田三郎講師、また調査にあたり快よく協力して下さった練習船進徳丸、船会社各社の方々に深い感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 原 潔 : 避航操船の信頼性学的 , 関西造船協会誌
考察 第167号, 昭和52年
- (2) 翁 長 一 彦 : 避航操船における視認方法
の信頼性について 日本航海学会
第61回講演会 昭和54年
- (3) 人間工学ハンドブック : 人間工学ハンドブック , 金原出版
編集委員会 編 昭和41年
- (4) 知 久 篤 他 編 : 工業デザイン全書 5 , 金原出版
人間工学 昭和41年
- (5) 杉 崎 昭 生 : 船舶自システムの自動化 6 , アンマンド社
UNMANNED AGE Vol.2.No.2
- (6) 飯 島 泰 蔵 : 電気・電子工学大系 43 , コロナ社
パターン 認識
- (7) 日本船長協会 : 通航分離水域について , 日本船長協会
昭和52年
- (8) 近 藤 次 郎 : 応用確率論 , 日科技連
昭和52年
- (9) 海上保安庁 : 要救助・不要救助海難調査票 , 海上保安庁
昭和51年~
昭和53年
- (10) 海上保安庁 : 船舶通航実態調査報告 , 海上保安庁
昭和50年~
昭和53年

- (11) 塩 見 弘 : 信頼性工学入門 改訂二版, 丸善株式会社
昭和 49 年
- (12) 海上保安庁 航行 : 新・海上衝突予防法, 成山堂書店
安全企画課 監修 昭和 52 年
- (13) 原 潔 : 超大型船の避航動作分析, 日本航海学会
論文集オ37号 昭和 42 年
- (14) 杉 崎 昭 生 : 電子計算機と船舶システム設計, 綜合出版センター
昭和 46 年

付録 Ⅰ (73)

コクヨ コピー SD (64×14)

見張り作業に関する面接調査票

はじめに 以下の質問に対する回答にあたっては、本州南東岸
剣埼沖から紀伊日ノ御埼沖に至る沿岸航路を航海し
ている場面を想定して下さい。

問 1. あなたがこれまでに乗船した主な船舶の大きさ、種類、速力を答えて下さい。

問 2. この海域において、自船を中心とする半径12マイルの海面には、平均何隻くらいの船舶が存在していると思いますか。

問 3. これら周囲の船舶のうち、あなたがその動静に注意をする必要ありと判断するものは、平均何隻くらいありますか。

問 4. あなたに、他船の避航処置をとらせる最も重要な要因は、何ですか。順番に答えて下さい。

- | | |
|---------|-------------|
| ① 距離 | ② 針路(アスペクト) |
| ③ 距離の変化 | ④ 方位 |
| ⑤ 針路の変化 | ⑥ 方位の変化 |
| ⑦ 速力 | ⑧ 大きさ |

問 5. このような沿岸航路において、衝突防止のための処置について答えて下さい。

A. 横切の場合

1) 避航処置のタイプは、

- ① 相手船を左・右どちらにみようと接近してくる船に対しては、早めに避航する。
- ② 相手船を右舷にみる場合は早めに避航するが、左舷の船に対しては、相手船が避航するものとしてしばらく様子を見る。
- ③ 相手船を右舷にみる場合、方位に変化なく接近してくる場合のみ避航し、左舷にみる船に対しては、避航しない。

2) 避航を開始する距離は、

- ()
- 右舷から接近 ()
- 左舷から接近 ()
- ()

3) 変針に用いる舵角は、

- ()
- ()
- ()
- ()

B. 反航の場合

- 1) 避航を開始する距離は、 ()
- 2) 変針に用いる舵角は、 ()
- 3) この場合、他船との離隔距離は、 ()

C. 同航の場合

- 1) 自船が追越す場合、避航を開始する距離は、 ()
- この場合、他船との離隔距離は、 ()
- 2) 自船が追越される場合、他船との離隔距離は、 ()

問 6. 他船に異常に接近したと覚めるのは、どれくらいの距離ですが、反航、横切、同航の3つのケースについて答えて下さい。

問 7. あなたが周囲に他船の存在のみを知った場合、次に知りたい要素は何ですか。重要なものから順にあげて下さい。

- | | |
|-------------|-------|
| ① 船の種類 | ② 距離 |
| ③ 方位 | ④ 速度 |
| ⑤ 針路(アスペクト) | ⑥ 大きさ |

問 8. 昼間、他船の針路(アスペクト)を判断するのは、むづかしい場合もありますが、あなたは主として何によって、他船の針路を判断していますか。

問 9. このような沿岸航海において、他の作業のため、あるいは、他の理由により見張りがおろそかになっていると覚めることがありますか。

- ① 多にある。 ② ときどきある。 ③ ない。

・ おわりに 調査に協力下さり、ありがとうございました。最後に差支えなければ、あなたの経歴等を答えて下さい。

- ① 入社後年数
② 乗船年数
③ 海技免状

付録 Ⅱ

見張作業記録紙

日時 刻	船名 番号	目 視 による 情 報								レーダー(R) コンパス(C) による 情 報				情報にもとづく 判断・動作			
		距離 マール	距離 変化	相 対 位 置	方 位 度	速 力 ノット	動 静	針 路	又 眼 鏡	距離 マール	距離 変化	方 位 度	方 位 度 変 化	衝突のおそれ・危険の 判断	見 張 続	避 航 操 船	その他の処置
			・ 近 ・ ±0 ・ 遠 ・ 速 ・ 遅	・ 右 ・ 左 ・ 度	・ 右 ・ ±0 ・ 左 ・ 速 ・ 遅	・ 反航 ・ 同航 ・ 横切				・ 近 ・ ±0 ・ 遠 ・ 速 ・ 遅	度	・ 右 ・ ±0 ・ 左 ・ 速 ・ 遅	① 衝突のおそれはない。 ② 衝突のおそれもある可能性がある。 ③ 衝突のおそれがある。 ④ 衝突の危険がある。 ⑤ 判断できない。	・ 不要 ・ 必要	・ 不要 ・ 必要 操舵角 ^P 新針路		
			・ 近 ・ ±0 ・ 遠 ・ 速 ・ 遅	・ 右 ・ 左 ・ 度	・ 右 ・ ±0 ・ 左 ・ 速 ・ 遅	・ 反航 ・ 同航 ・ 横切				・ 近 ・ ±0 ・ 遠 ・ 速 ・ 遅	度	・ 右 ・ ±0 ・ 左 ・ 速 ・ 遅	① 衝突のおそれはない。 ② 衝突のおそれもある可能性がある。 ③ 衝突のおそれがある。 ④ 衝突の危険がある。 ⑤ 判断できない。	・ 不要 ・ 必要	・ 不要 ・ 必要 操舵角 ^P 新針路		
			・ 近 ・ ±0 ・ 遠 ・ 速 ・ 遅	・ 右 ・ 左 ・ 度	・ 右 ・ ±0 ・ 左 ・ 速 ・ 遅	・ 反航 ・ 同航 ・ 横切				・ 近 ・ ±0 ・ 遠 ・ 速 ・ 遅	度	・ 右 ・ ±0 ・ 左 ・ 速 ・ 遅	① 衝突のおそれはない。 ② 衝突のおそれもある可能性がある。 ③ 衝突のおそれがある。 ④ 衝突の危険がある。 ⑤ 判断できない。	・ 不要 ・ 必要	・ 不要 ・ 必要 操舵角 ^P 新針路		
			・ 近 ・ ±0 ・ 遠 ・ 速 ・ 遅	・ 右 ・ 左 ・ 度	・ 右 ・ ±0 ・ 左 ・ 速 ・ 遅	・ 反航 ・ 同航 ・ 横切				・ 近 ・ ±0 ・ 遠 ・ 速 ・ 遅	度	・ 右 ・ ±0 ・ 左 ・ 速 ・ 遅	① 衝突のおそれはない。 ② 衝突のおそれもある可能性がある。 ③ 衝突のおそれがある。 ④ 衝突の危険がある。 ⑤ 判断できない。	・ 不要 ・ 必要	・ 不要 ・ 必要 操舵角 ^P 新針路		